

Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava

Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství



Vliv tuhosti na procesy obrábění

Influence of rigidity to the machining processes

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE:

Jakub Kulla

VEDOUCÍ PRÁCE:

Ing. Radim Trojan, Ph.D.

OSTRAVA 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra materiálů a technologií pro automobily

Zadání bakalářské práce

Student: **Jakub Kulla**
Studijní program: B3923 Materiálové inženýrství
Studijní obor: 3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl
Téma: **Vliv tuhostí na procesy obrábění**
Influence of rigidity to the machining processes

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do teorie obrábění na víceosých obráběcích strojích
2. Principy upínání nástroje a obrobku
3. Vliv tuhosti stroj-obrobek-nástroj na procesy obrábění
4. Návrh a optimalizace řezných podmínek

Seznam doporučené odborné literatury:

ŘASA, J., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3 – Metody, stroje a nástroje pro obrábění 1.díl. 2.vyd. PRAHA: Scientia, spol. s r. o., 2005. 256 s. ISBN 80-7183-337-1.

VLACH, B., aj. Technologie obrábění a montáží. 1. vyd. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1990. 464 s. ISBN 80-03-00143-9.

KALIŃSKI, Krzysztof J. On a method of modelling and simulation of vibration surveillance during ball end milling of flexible details. Sborník vědeckých prací Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Řada strojní b. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava,

2006, 52(2): 71-78. ISSN 1210-0471.

ALTINTAS, Yusuf. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations and CNC design. Cambridge: Cambridge University Press, 2000, xii, 286 s. ISBN 0-521-65973-6.

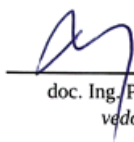
FRISCHHERZ, Adolf, Jaromír PRAGAČ a Herbert PIEGLER. Technologie zpracování kovů. 4. vyd. Praha: SNTL (Wahlberg), c2001, 280 s. ISBN 80-902655-1-0.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Trojan, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016



doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

- ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.
- ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.
- ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).
- ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.
- ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.
- ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.
- ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:
- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
 - Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
 - Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.
- BP nemusí obsahovat experimentální (aplikační) část.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury). V případě, kdy zadání BP vychází ze spolupráce se subjekty mimo VŠB -TU Ostrava a řešení studenta, týkající se citlivých dat spolupracujícího subjektu, je zpracováno v samostatné zprávě, tak zveřejněná část BP bude zpracována v rozsahu min. 15 stran a celkový rozsah BP bude min. 25 stran.

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující doporučené úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm, zarovnání do bloku.

Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9). Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslvány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků. Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690. Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

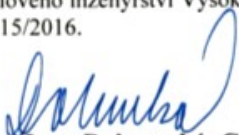
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2015/2016.

Ostrava 2. 11. 2015


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 – školní dílo);
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB – TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně.

V Ostravě dne

.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem tuhosti na procesy obrábění. Práce obsahuje úvod do teorie obrábění. Na úvod navazuje kapitola, ve které popisují upínání nástrojů a obrobků, principy a možnosti pro konkrétní technologie obrábění. Popsal jsem zde vliv tuhosti mezi strojem, nástrojem a obrobkem na procesy obrábění. V experimentální části je popsán vliv délky nástroje na kvalitu obráběné plochy a na možnosti optimalizace řezných parametrů.

KLÍČOVÁ SLOVA

Terminologie obrábění, tradiční způsoby obrábění, NC a CNC stroje
upínání, obrobky, nástroje, obrábění, upínací zařízení

ABSTRACT

This thesis examines the influence of the stiffness of the machining process. The thesis contains an introduction to the theory of machining. At the beginning of next chapter, in which I describe clamping tools and workpieces, principles and options for specific machining technology. I described the influence of the stiffness of the machine tool and the workpiece for machining processes. The experimental part describes the influence of tool length on the quality of the machined surface and optimization possibilities of cutting parameters.

KEYWORDS

Cutting terminology, conventional cutting procedures, NC and CNC machines
clamping, workpieces, machine tools, machining, clamping devices

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Radimu Trojanovi, Ph.D. za pomoc při všech částech mé práce.

Obsah

Úvod	3
1. Úvod to teorie obrábění na víceosých strojích	4
1.1.1. Pohyby při obrábění -Základní	4
1.1.2. Geometrie břitu	5
1.1.3. Tvoření třísky	6
1.1.4. Opatření nástroje	7
1.1.5. Hospodárnost obrábění	8
1.2. Tradiční způsoby obrábění	9
1.2.1. Soustružení	9
1.2.2. Frézování	10
1.2.3. Vrtání	11
1.2.4. Hoblování a obrážení	12
1.2.5. Protlačování protahování	13
1.2.6. Broušení	14
1.3. Generační stupně NC strojů	15
1.4. Systémy číslicového řízení	15
1.5. Číslicově řízené obráběcí stroje CNC a NC	16
2. Principy upínání nástrojů	16
2.1. Soustružení	16
2.1.1. Nožové hlavy	17
2.1.2. Revolverová hlava	18
2.1.3. Upínání nástrojů u číslicově řízených soustruhů	18
2.2. Frézování	19
2.2.1. Upínání nástrčné frézy	19
2.2.2. Upínání frézy s válcovou stopkou	20
2.2.3. Upínání frézy s kuželovou stopkou	22
3. Princip upínání obrobků	22
3.1. Soustružení	22
3.1.1. Univerzální sklíčidlo	23
3.1.2. Upínání mezi hroty	24
3.1.3. Opěry	25
3.1.4. Upínací deska	25
3.1.5. Upínání obrobků u číslicově řízených soustruhů	26
3.2. Frézování	26
3.2.1. Strojní svěráky	27
3.2.2. Upínací pomůcky a upínací přípravky	28
4. Vliv tuhosti stroj- obrobek- nástroj na procesy obrábění	29
4.1. Vlastní kmity	29
4.2. Vynucené kmity	30
4.2.1. Příčiny vzniku vynucených kmitů	30
4.2.2. Odstranění nevynucených kmitů	31
4.3. Samobuzené kmity	31
4.3.1. Příčiny vzniku samobuzených kmitů	32
4.3.2. Odstraňování samobuzených kmitů při obrábění	32

5. Návrh optimalizace řezných podmínek	33
5.1. Nástroje	34
5.2. Materiál	37
5.3. Příprava nástrojů	37
5.4. Test č.1	38
5.5. Test č.2	39
5.6. Test č.3	40
5.7. Test č.3. Po snížení parametru	41
6. Závěr	42
Použité informační zdroje	43
Použité obrázky	44
Použité tabulky	45

Úvod

Strojní obrábění je tou nejrozšířenější strojírenskou technologií pro výrobu dílů. Systematický vývoj u obráběcích strojů je charakterizován hlavně požadavky na jakost práce, přesnost vyráběných součástí, ale taky požadavek na zvýšení počtu vyráběných součástí. S čím dál vyššími požadavky jako je přesnost rozměrů, jakost obráběných ploch a rychlost obrábění dochází k vývoji automatických obráběcích strojů. Výrobní stroje v současném strojírenství z velké části využívají výpočetní techniku. Automatizace a řízení strojů za pomoci PC a softwarů zvyšuje jejich hodnotu. Nahrazení člověka strojem zásadním způsobem zvyšuje efektivitu práce. Tím, že se zadaná operace provádí opakovaně rychle, přesně a spolehlivě.

Tuhost mezi strojem- obrobkem- nástrojem nám zaručuje odolnost proti deformacím které jsou způsobené řeznou silou. Pokud by nebyla zajištěna dostatečná tuhost součástí obráběcího stroje, mělo by to za následek nepříznivý vliv na přesnosti rozměrů obrobku, kvalita obráběného povrchu takovýmto strojem by vykazovala zhoršení jeho kvality a rovněž by byla značným způsobem snižována trvanlivost nástroje a produktivita obrábění.

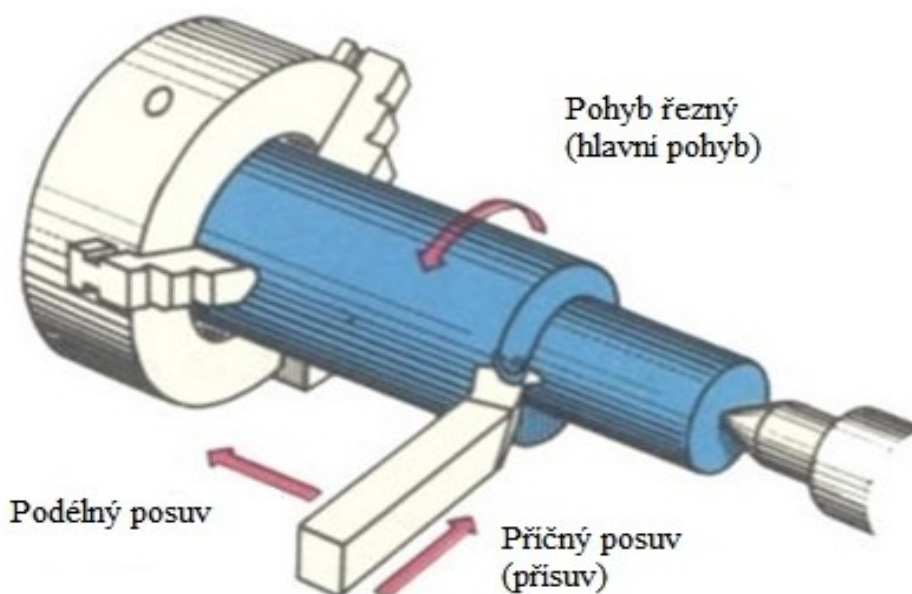
1. Úvod to teorie obrábění na víceosých strojích

Při procesu obrábění ubíráme ze základního materiálu částice materiálu, abychom byli schopni vytvořit plochu požadovaného rozměru, tvaru a jakosti. Při obrábění oddělujeme materiál formou třísky vzájemným pohybem nástroje (jeho břitu) a obrobku.[1]

1.1.1. Pohyby při obrábění -Základní

Při obrábění se obráběný předmět a obráběcí nástroj pohybují proti sobě. Dráha obrábění může být přímočará, kruhová, nebo ve křivce. Tento pohyb je nazýván řezným pohybem a je složen z hlavního pohybu a vedlejšího pohybu. Tyto pohyby dělíme na tři základní. [1]

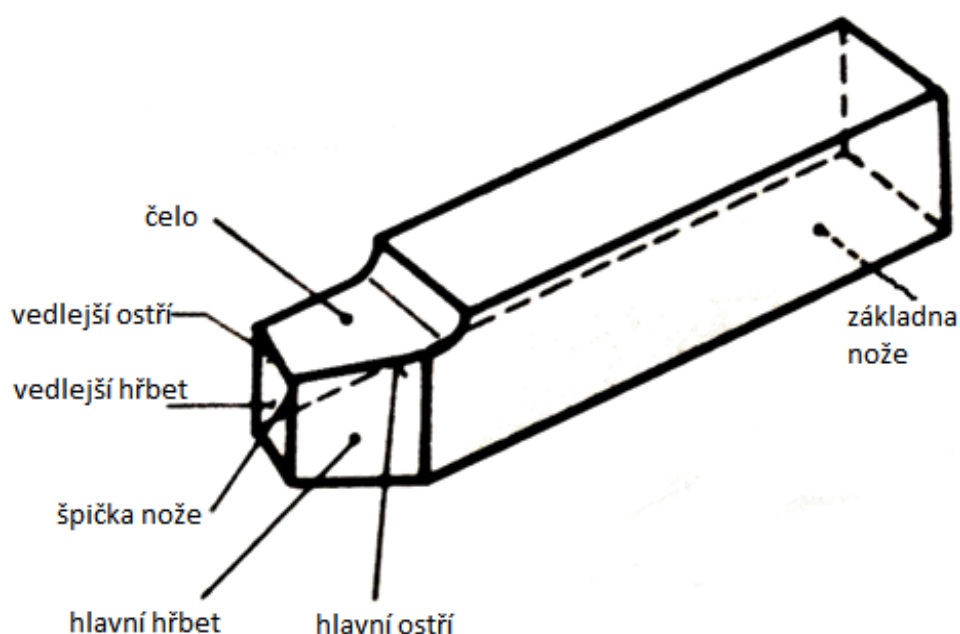
- **Pohyb řezný:** Je to hlavní pohyb, jenž umožňuje třísku oddělit z obráběného materiálu, řezný pohyb může konat i materiál (hoblování, soustružení) tak i nástroj (vrtání, protahování, frézování) a nástroj i materiál současně (broušení nakulato). Rychlost jakou pohyb probíhá, nazýváme řeznou rychlostí.
- **Posuv:** Je pohyb, který nástroj nebo obráběný předmět vykonává v kolmém směru pro řezný pohyb. Posuv nám umožňuje, aby se z obráběného předmětu mohly oddělit třísky. Posuvy jsou příčné, kruhové, podélné, svislé, aj. [1]
- **Přísuv:** Je to pohyb nástroje anebo obrobku, za pomoci kterého nastavujeme nástroj do správné pracovní polohy, udává hloubku řezu [2]



Obr. 1. Pohyby při obrábění [3]

1.1.2. Geometrie břítu

Každé obrábění uskutečňujeme, tak že nožem odebíráme z materiálu třísku, tříska se odebírá břitem, břit vytváří hřbet a čelo nože. Čelo nože tvoří rovina, která vytváří třísku. Hřbet nože tvoří rovina, která je odvrácená obráběné ploše obrobku. Vedlejší břit je tvořen hranou, která je vytvářena průsečíkem čela a vedlejším hřbetem nože. Základnou nože (pouze soustružnické a hoblovací nože) tvoří rovina dřívku nože, kterou se nož dotýká pracovní plochy. Broušením nože na požadovaný tvar a nastavením vůči obrobku vzniknou řezné úhly. [1] Řezný proces je značně ovlivňován geometrickým tvarem řezného nástroje, velikostí řezných sil (tření, deformace) jakostí obráběné plochy, opotřebení nástroje (trvanlivost). [2]

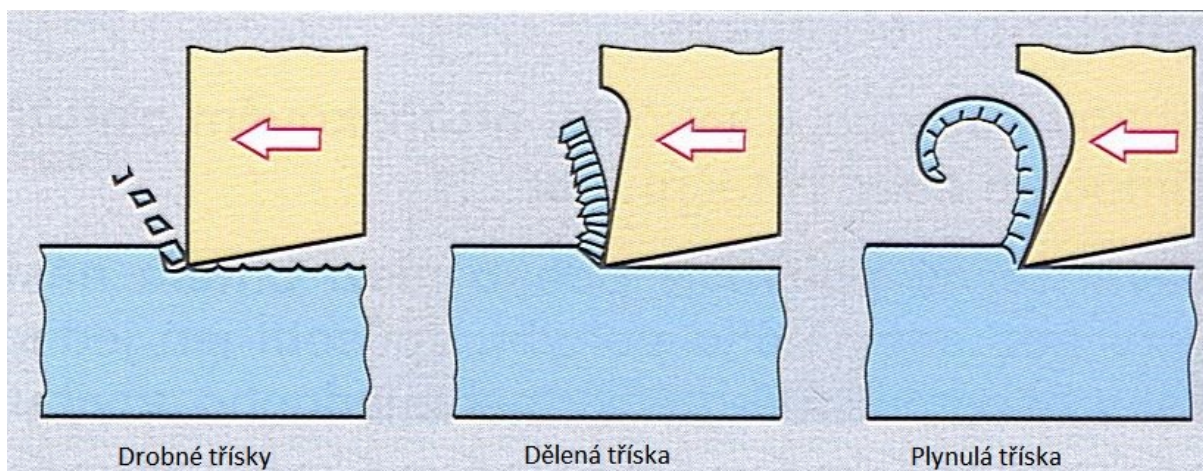


Obr. 2. Popis soustružnického nože [3]

1.1.3. Tvoření třísky

Břitem a čelem nože, který je do materiálu vtlačován jistou rychlostí a tlakem, materiál z počátku deformujeme: tlak nože vyvolá napětí, které se vyrovná pevnosti ve smyku, tak že se naruší částice deformovaného materiálu, ty se následně posunou. Tento postup opakujeme v pravidelných intervalech, tím vzniká tříska. Podle řezných podmínek a podle obráběného materiálu máme tři základní druhy třísek:

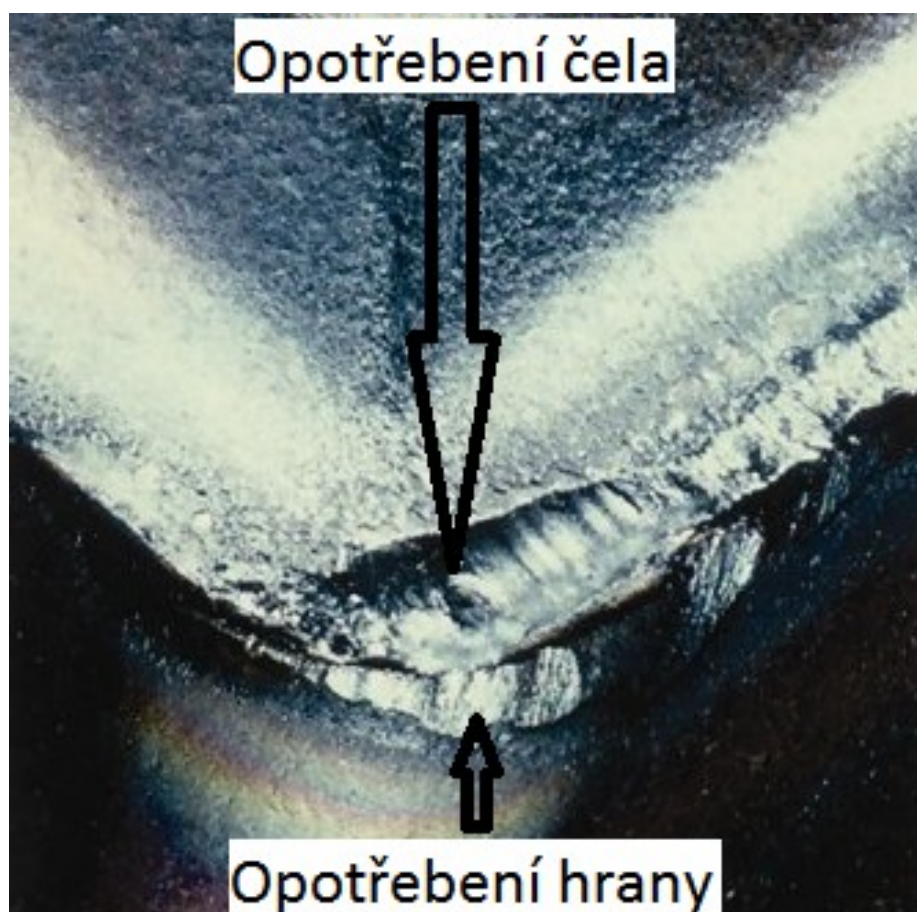
- **Drobné třísky:** Vytváří se při obrábění křehkých materiálů. Její tvar připomíná drobné úlomky nebo šupiny. Úlomky vznikají tak že se vylamují drobné částice materiálu a způsob jejich tvorby zapříčiňuje méně hladký povrch. Menší vylamování materiálu můžeme docílit tak, že zmenšíme hloubku záběru společně s úhlem čela a zároveň zvětšíme řeznou rychlost.
- **Dělená tříska:** Tvoří se obráběním houževnatého materiálu s menší tvrdostí. Souvislý pás oddělovaný od obráběného materiálu, který je následně odkloněním na straně nože přerušen vznikajícími lomy které způsobují deformace třísky. Z pohledu řezných podmínek dává tento druh třísky dobrou jakost povrchu.
- **Plynulá tříska:** Je tvořena dlouhými jednolitými pásy v průběhu obrábění houževnatých materiálů. Z pohledu řezných podmínek je tento druh třísky výhodný. Tento druh třísky se má tendenci navíjet do spirál, tyto spirály překáží při práci, ohrožují dělníky a zrychleně zaplňují nádobu pro třísky. Proto je nutné dávat na tyto věci patřičný pozor. [1]



Obr. 3. Dělení třísky [3]

1.1.4. Opotřebení nástroje

Při procesu obrábění vzniká velké množství tepla, proto se břit ohřívá na velmi vysokou teplotu. Díky dnešním výkonným řezným podmínkám může teplota povrchu břitu některých nástrojů dosahovat až 1000°C. Tím dochází ke změně tvrdosti nástroje, rychlost opotřebení břitu vzrůstá a tím se zmenšuje jeho trvanlivost.[1] Schopnost používaných nástrojových materiálů udržet vysokou tvrdost i při vysoké teplotě je jejich nejcennější vlastnost. Čím je teplota, při které si nástroj udrží svoji původní tvrdost, vyšší, tím příznivější řezné podmínky lze použít, díky čemuž se zvýší produktivita práce. V průběhu obrábění se opotřebovává čelo a hřbet nástroje. Hřbet nástroje se opotřebovává třením mezi nástrojem a řeznou plochou, kdežto čelo nástroje se opotřebovává kvůli tření třísek. [1]



Obr. 4. Opotřebení nástroje [9]

1.1.5. Hospodárnost obrábění

Při obrábění se musí počítat s jistými faktory, které proces do jisté míry ovlivňují.

Jedním takovým faktorem je trvanlivost nástroje.

- Trvanlivost charakterizuje, jaká bude odolnost nástroje vůči opotřebení.
- Trvanlivost je dána dobou, po kterou nástroj pracuje od jeho naostření po jeho otupení. Po sečtení všech trvanlivostí nástroje můžeme určit jeho životnost.
- Trvanlivost břitů je závislá na mnoha faktorech: geometrii břitů, řezných podmínkách, materiálu nástroje a obrobku, způsobu obrábění, řezném prostředí.
- Optimální trvanlivostí může charakterizovat obrobitelnost materiálu a řezivost nástroje.

Obrobitelnost materiálu jsou vlastnosti materiálu, které určují, jestli je vhodný k obrábění, je tím lepší, čím větší dovoluje úběr a optimální trvanlivost při použití nástroje se stejnou řezivostí.

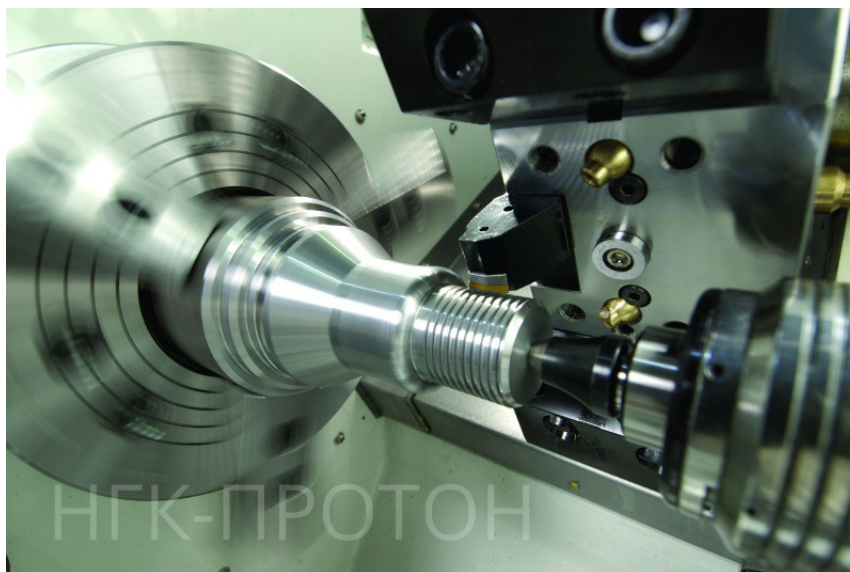
- Řezivost nástroje jsou vlastnosti nástroje, které určují, jestli je vhodný k obrábění.
- Řezivost, je tím lepší, čím je výkon nástroje větší. [2]

Pro každé obrábění existují vždy optimální řezné podmínky, při kterých lze dosáhnout úběru materiálu za minimálních nákladů. Určení hodnot závisí na: technologických podmínkách, které jsou dány parametry určitého obráběcího stroje, obráběného obrobku, a ekonomických podmínkách, které jsou optimální pro trvanlivost nástroje. Pro volbu ideálních řezných podmínek se vychází z toho, že pro nás je vhodnější zvýšit úběr materiálu tak, že zvětšíme průřez odebírané třísky, než abychom zvýšili rychlost. Protože se vzrůstající rychlostí nám roste teplota nástroje a tím se snižuje jeho trvanlivost.[2]

1.2. Tradiční způsoby obrábění

1.2.1. Soustružení

Soustružení na Obr.5. je to metoda obrábění jak vnějších, tak i vnitřních rotačních ploch, většinou jedno břitovými nástroji. Hlavní pohyb při soustružení je točivý pohyb obrobku. Nástroj vykonává pohyb vedlejší tj. podélný posuv, příčný posuv a rovnoběžný s osou otáčení, kolmý s osou obrobku. Výsledkem posuvu v podélném směru je válcová plocha, výsledkem posuvu příčného je čelní rovinná plocha. Je-li konán zároveň posuvný pohyb příčný a podélný, vznikne obecná rotační plocha. Nástroj, koná krom posuvu i přísuv. Tento pohyb, díky kterému se nastavuje námi zvolená hloubka řezu, probíhá před samotným obráběním. [5]



Obr. 5. Soustružení [6]

Nástroj Soustružnický nůž	Rozlišujeme dle různých hledisek: konstrukce, materiálu břitu, směru posuvu, tvaru stopky nože, způsobu obrábění, druhu obráběcího stroje.
Stroj Soustruh	Soustruhy dělíme na: hrotové, svislé čelní revolverové, poloautomatické, automatické, číslicově řízené Soustruh se skládá z: lože, vřeteníku, suportu koníku, převodovky otáček, elektromotoru, posuvů.
Soustružnické práce	Soustružení, vyhrubování, vrtání, řezání, závitů závitníky, vystružování, za pomoci přídatných zařízení můžeme brousit a frézovat. Dokončovací operace jako pilování leštění.

Tab. 1. Soustružení [5]

1.2.2. Frézování

Frézování znázorněné na Obr.6. je oproti soustružení mladší. Frézování je metoda třískového obrábění tvarových nebo rovinných ploch, vnějších nebo vnitřních, vícebřitými nástroji. Při frézování koná hlavní řezný pohyb nástroj. Vedlejší pohyb posuvný vykonává obrobek. Pohyb může být přímočarý, otáčivý, nebo pohyb obecný po prostorové křivce [5]



Obr. 6. Frézování [7]

Nástroj Fréza	Rozlišujeme dle různých hledisek dle umístění břitu, podle tvaru zubů, podle upínání, dle průběhu ostří zubů frézy, podle konstrukce.
Stroj Frézka	Frézky dělíme na: Konzolové frézky (svislé, vodorovné, kopírovací, univerzální) speciální frézky (na závity, drážky ozubení vačky) rovinné frézky
Frézovací práce	Hlavně rovinné plochy, tvarové plochy, drážky, závity a ozubená kola.

Tab. 2. Frézování [5]

1.2.3. Vrtání

Vrtání na Obr. 7. je metoda obrábění vnitřních, převážně rotačních ploch, nejčastěji dvoubřitým nástrojem. Slouží k vytvoření nebo rozšíření děr. Hlavní ale i vedlejší pohyb vykonává nástroj, vedlejší pohyb posuv se děje ve směru osy otáčení nástroje. V ideálním případě je osa vrtáku kolmá na obráběný povrch. Odvod třísky zajišťuje geometrie vrtáku. Vrtání je operace, která se dá provádět jako samostatná činnost a nebo může být integrovaná do frézovacích strojů obě metody využívají stejný princip. [5]

- Hrubování slouží pro přípravu díry před dokončovacím vrtáním.
- Zahlubování je úprava otvorů pro hlavy šroubů.
- Vystružování je to odebírání nejjemnější třísky v předvrtaných dírách, aby se dosáhlo tvarové a rozměrové přesnosti a kvalitního povrch



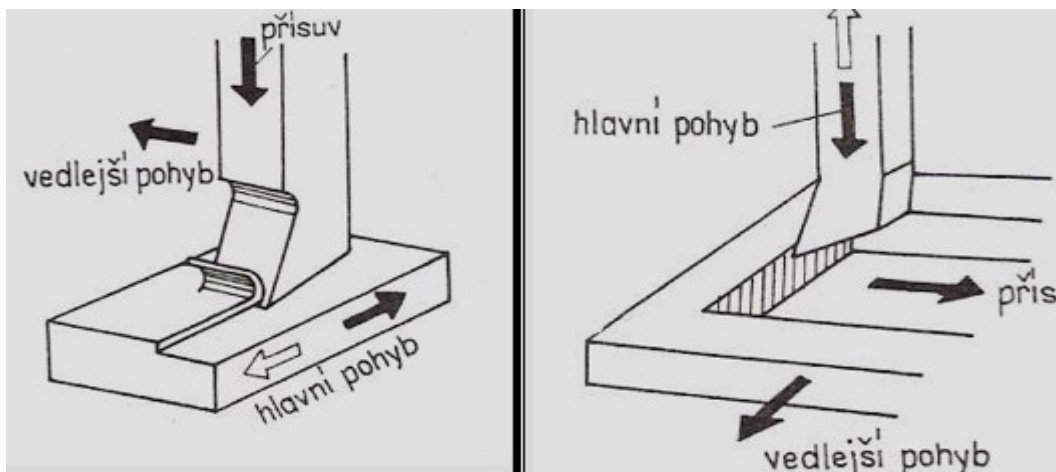
Obr. 7. Vrtání [8]

Nástroj	Vrtáky: šroubovité, kopinaté, dělové vrtáky, středící, vrtací hlavy
	Výhrubníky: nástrčné, se stopkou,
	Výstružníky: ruční, strojní válcové kuželové, stavitelné, rozpínací.
	Zahlubníky: dvou nebo vícebřité nástroje s břity na čele.
Stroj Vrtačka	Dělíme na vrtačky: stolní, stojanové, sloupové, radiální, souřadnicové, speciální.
Práce na vrtačkách	Vrtání, vystružování, vyhrubování, řezání závitů, zahlubování, srážení hran děr.

Tab. 3. Vrtání [5]

1.2.4. Hoblování a obrážení

Hoblování (Obr.8.) je to proces obrábění, při kterém jednobřitým nástrojem opracováváme vnější popřípadě vnitřní rovinné plochy. Při hoblování provádí hlavní řezný pohyb obrobek, ten je rovnoměrně přímočarý. Posuv ve svislém a vodorovném směru kolmo ke směru řezné rychlosti je konán nástrojem. V případě obrážení (Obr.8.) je hlavní řezný pohyb konán nástrojem. Pohyb, který vykonává je přímočarý vratný, a nerovnoměrný. [5]



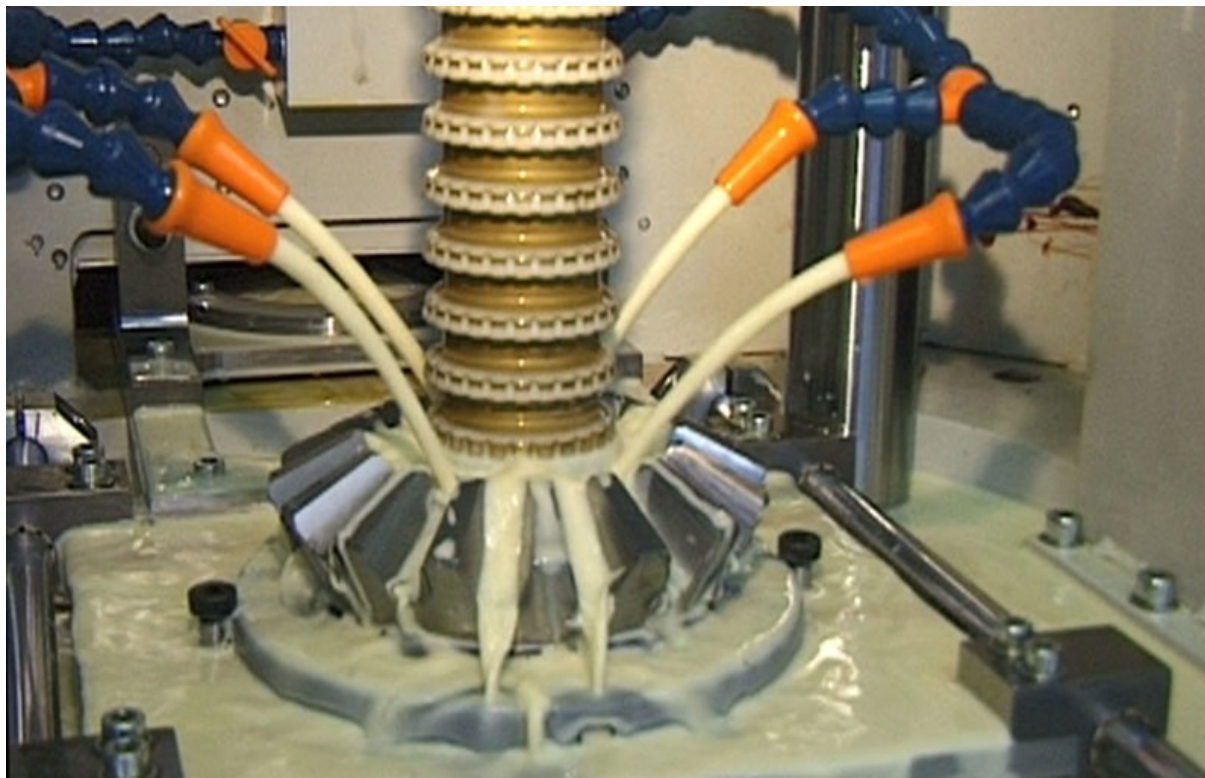
Obr. 8. Hoblování a obrážení [9]

Nástroj	Hoblovací nože: hrubovací, ubírací, hladicí, zapichovací, tvarové, rohové
	Obrážecí nože vodorovné (drážkovací hoblovací), pro svislé obrážení
Stroj	Obrážčka: svislá, vodorovná
	Hoblovka: jedno á, dvoj stojanová.
Hoblovací a obrážecí práce	.Na hoblovkách můžeme obrábět jak dlouhé rovinné plochy, tvarové přímkové plochy, můžeme hoblovat i drážky, s přídavným zařízením můžeme frézovat nebo hoblovat i rotační plochy.
	Vodorovné obrážčky: můžeme obrábět jak rovinné tak i tvarové plochy, ale i plochy rotační šikmé anebo drážky. Svislé obrážčky: schopnost obrážet vnější i vnitřní tvarové plochy.

Tab. 4. Hoblování a obrážení [5]

1.2.5. Protlačování protahování

Jsou to vysoce produktivní metody obrábění, využívané hlavně v sériové a hromadné výrobě. Protahování (Obr. 9.) je obrábění vnějších nebo vnitřních rovinných, tvarových ploch nástrojem s mnoha břity. Hlavní řezný pohyb je většinou přímočarý, může však být i otáčivý je vykonáván zpravidla nástrojem. Vysoká produktivita protahování se zajišťuje současným záběrem vícebřitého protahovacího trnu. [5]



Obr. 9. Protlačování [9]

Nástroj	Protlačovací a protahovací trnech rozlišujeme části pro: vedení, upínání, řezání, kalibraci, a hladící části Pro přímé vnější protahování využíváme kotoučové protahováky.
Stroj	Svislé nebo vodorovné protahovačky Podle druhu pohonu mechanické nebo hydraulické
Práce s protahovačkami	Protahování vnějších ploch: vnější drážkování, ozubení, složité tvarové drážky Protahování vnitřních ploch: drážky pro náboje, péra, drážkové hřídele, ozubení vnitřní a díry s nepravidelnými tvary.

Tab. 5. Protlačování, protahování [5]

1.2.6. Broušení

Broušení, které je vyobrazeno na Obr. 10 se řadí mezi dokončovací metody pro obrábění rovinných, tvarových, válcových vnějších nebo vnitřních ploch nástrojem, jenž je tvořen zrny tvrdých materiálu, která zastupují břity. Zrna jsou mezi sebou navzájem spojena vhodnými pojivy. Charakteristické pro broušení je, že v záběru je současně velké množství zrn, přičemž jsou odebrány třísky malých průřezů s různými velikostmi. [5]



Obr. 10. Broušení [9]

Nástroj	.brusné kotouče, kameny, pásy, segmenty
Stroj brusky	Hrotové nebo bezhroté brusky, brusky pro díry, pásové nebo speciální brusky, rovinné a nástrojařské brusky
Práce s bruskami	Broušení rotačních a rovinných ploch, speciálních plochu, vnitřních nebo vnějších

Tab. 6 Broušení [5]

1.3. Generační stupně NC strojů

Ve vývoji NC strojů je možné zaznamenat určité charakteristické etapy označované také za vývojové generace NC strojů.

1. Generace

- Stroje odvozené od tradičních strojů, kterým jsou připojeny číslicové řídicí systémy.
- Stroje jsou schopny řízení pouze v pravoúhlých cyklech.
- Jsou nevyhovující z hlediska jejich přesnosti, spolehlivosti a technologických možností.

2. Generace

- Stroje konstruovány podle požadavku na NC stroje.
- Jsou již vybaveny servo systémy, jenž umožňují souvislé řízení, jsou používány dvě osy současně.
- Využití schopnosti obrábět pomocí několika nástrojů současně, použití revolverové hlavy

3. Generace

- Je umožněno zařazení do automatizovaných výrobních linek, je vyřešena doprava obrobku mezi pracovišti.
- Jde o CNC stroje typu BOS (bezobslužné obráběcí stroje), automatická kontrola přesnosti obrobku, kontrola nástrojů, třískové hospodářství.

4. Generace

- Uplatňují se progresivní metody konstrukce a použití například laseru v měření atd. [10]

1.4. Systémy číslicového řízení

Číslicové řídicí systémy můžeme rozdělit na dvě skupiny

- **NC (Numerical Control) Číslicově řízené stroje:** Ovládání všech funkcí stroje je prováděno výhradně řídicím systémem stroje podle programu. Všechny údaje potřebné k obrobění součásti jsou připraveny ve formě řady čísel. Tato čísla v určitém kódu srozumitelném pro řídicí systémem stroje jsou zaznamenána na nosiči informací. Program se zhotoví mimo obráběcí stroj, pak se do něj vloží.
- **CNC (Computer Numerical Control) Počítačem řízené Číslicové stroje:** CNC stroje mají zabudovanou řídicí paměť a programovatelný interface. Na rozdíl od NC strojů se program může psát a upravovat přímo v počítači stroje. [4]

Používané informace v oblastech NC i CNC strojů, které program obsahuje:

- Geometrické- určují rozměry součásti, popisují dráhu nástroje k obrobku.
- Technologické- charakterizují řídicí funkce, které stroj musí vykonat.
- Pomocné - informace určitých pomocných funkcí např. zapínání a vypínání vřetene, chlazení apod. [10]

1.5. Číslicově řízené obráběcí stroje CNC a NC

Proces obrábění na číslicově řízeném obráběcím stroji podobný postup jako obrábění na tradičním stroji. Například ustavit součást do správné polohy, pevně upnout do zásobníku nástroje, spustit hlavní řezný pohyb, tak aby došlo k interakci nástroje a součásti a bylo docíleno opracování požadovaných ploch. Tento cyklus je opakován automaticky s různými obměnami nástrojů, poloh obrobku, řezných podmínek, apod. Tento proces se opakuje tak dlouho, dokud není dosaženo požadovaného výsledku.

CNC stroj, je natolik automatizován, že většinu činností, které u tradičního stroje vykoná obsluha, je nahrazeno řízením za pomoci počítačového programu. Příkazy programu jsou řízeny všechny pohyby součástí nástrojů, změny řezných podmínek, výměny nástrojů, apod.

Základ CNC strojů je řídicí systém na zpracování informací, o pohybu nástroje a obrobku, jejich aktuální rychlosti, poloze, apod. Pohyb břitu nástroje po povrchu součástí musí být automatický, přesný a plynulý.

Pohybové mechanismy CNC strojů vykonávají jeden nebo více pohybů na různých osách. Pohony jednotlivých pohybových mechanismů jsou zajišťovány řízením servopohonu, umožňující pohyb po určené dráze, za určité rychlosti, do přesné polohy. [11]

2. Principy upínání nástrojů

Pro upínání nástrojů používaných při obrábění je nutné dodržovat jisté požadavky.

Požadavky pro upínání jsou:

- Jednoduchost,
- Dostatečná pevnost upnutí,
- Dostatečný přenos krouticího momentu,
- Přesnost
- Životnost upínacího prostředku

2.1. Soustružení

Při upínání soustružnických nástrojů - nožů (Obr. 11. – Obr. 12) je důležité jejich výškové nastavení. To nejčastěji kontrolujeme podle špičky nástroje, která by většinou měla být ve stejné úrovni jako osa obrobku, ale existují výjimky, kdy se schválně upevňují nad a nebo pod osu obrobku. Toho docílíme tak, že nože podložíme podložkami z kovu, podkládáme, dokud nebude osa obrobku v rovině se špičkou nástroje. Měli bychom ovšem použít co nejmenší počet podložek, aby nedocházelo k pohybu nástroje. [12]

Musíme také dbát na tzv. vložení nože, mělo by být minimální. V případě že tomu bude jinak bude nůž vystaven ohybovému namáhání, což bude způsobovat kmitání a postupně dojde k vylomení břitu. Proto vložení nože by nemělo přesáhnout výšku nože. Vnitřní nože jsou opatřeny částí pro upnutí a částí, jenž má dostatečnou délku pro potřeby soustružení vnitřních ploch (Obr.11.). [12]



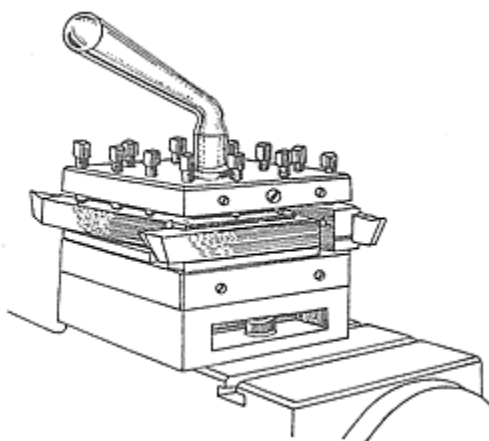
Obr. 11. Soustružnický nůž vnitřní [9]



Obr. 12. Soustružnický nůž [9]

2.1.1. Nožové hlavy

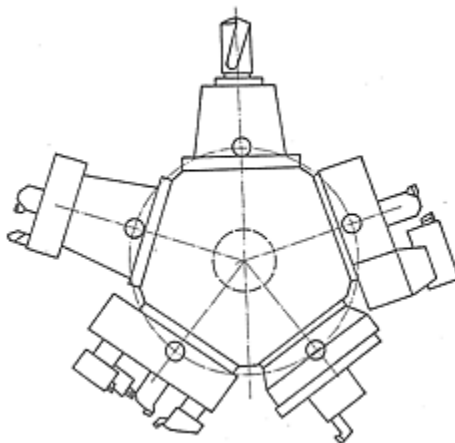
Nejčastěji se u soustruhu pro upínání nožů používají otočné nožové hlavy (Obr. 13). Výhodou jejich použití je možnost upnutí až čtyř nožů najednou. Tím je umožněno současně upnout nože různých typů. Výměna nástrojů pro právě probíhající obrábění je proto rychlejší a tím se i zkrátí celková doba výroby daného obrobku. [13]



Obr. 13. Upínání nožů otočnou nožovou hlavou [13]

2.1.2. Revolverová hlava

Tento způsob upínání nožů pomocí nástrojových otvorů, jenž jsou na otočné revolverové hlavě, používáme u revolverových automatických, tak svislých soustruhů. Tento typ sestavy umožňuje upínat více nástrojů, jejich počet se liší podle velikosti a typu revolverové hlavy. Výhodné je že se nástroje mohou pouze vyměnit za jiné bez nutnosti jeho ustavení. Je tak možné upnout nejen nože, ale i nástroje určené pro vrtání, závitování, atp. [13]



Obr. 14. Upínání v revolverové hlavě [13]

2.1.3. Upínání nástrojů u číslicově řízených soustruhů

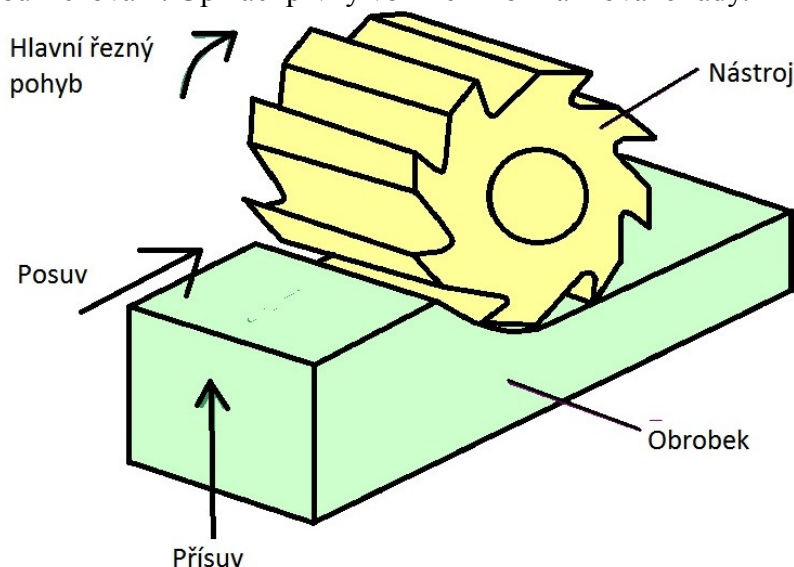
V případě číslicových soustruhů (CNC) jsou nože upínány do nástrojových hlav. Mohou to být různá provedení s různými počty a různými druhy nástrojů. Další možnost upnutí nástrojů v těchto poloautomatických a u automatických soustruhu je elektronický zásobník nástrojů (Obr. 15.). Nástroje jsou předem seřizeny na požadované rozměry a poté umístěny do zásobníku pro nástroje. Pro obrábění jsou tyto nástroje používány ze zásobníku v automatických cyklech.[13]



Obr. 15. Elektronický zásobník nástrojů [14]

2.2. Frézování

Volba upínacího prostředku pro upnutí frézy je závislá na její konstrukci (tvaru a rozměrech) a na způsobu frézování. Upínací prvky volíme z normalizované řady.

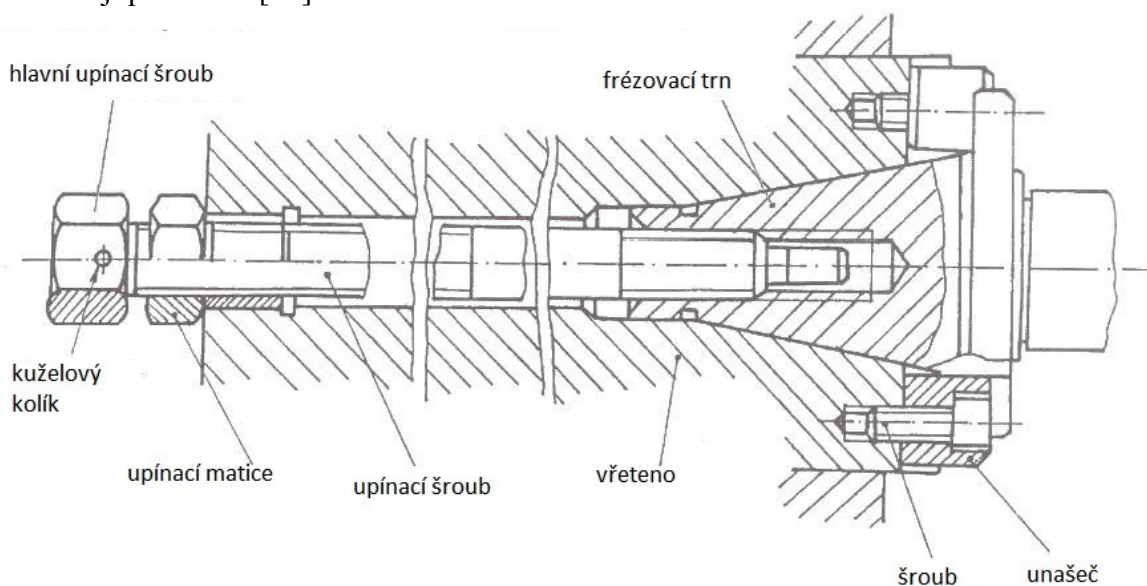


Obr. 16. Pohyby při frézování [12]

2.2.1. Upínání nástrčné frézy

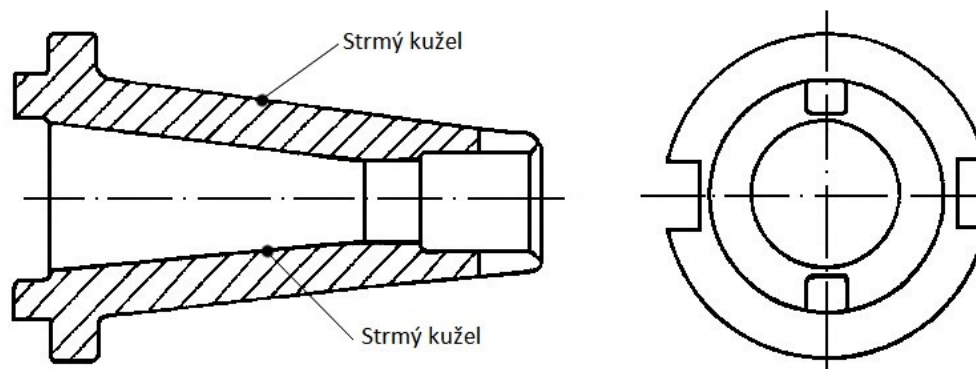
Nástrčné frézy upínáme na frézkách za pomoci frézovacího trnu, který se umísťuje do pracovního vřetene stroje. Uvnitř vřetene je dutina, jenž má tvar kužele a ten má i frézovací trn. Kužel může být metrický s kuželovitostí 1:20, HSK1:10 ISO s kuželovitostí 3,5:12, Morse kužele s kuželovitostí 1:19, nebo strmý s kuželovitostí 1:3,5.[13]

Krouticí moment z vřetene na trn je přenášen díky samosvornosti, unášecím kamenům, apod. Na frézovacím trnu zapadá plochý nákržek právě do obdélníkového vybrání, jenž je zpravidla na konci vřetene. Proto se při otáčení vřetene trn neuvolní a krouticí moment je hodnotněji přenesen. [13]



Obr. 17. Upnutí strmého frézovacího trnu do vřetene [13]

Pokud by byly mezi kuželem trnu a dutinou vřetene odchylky ve velikost nebo typu, použije se redukční pouzdro (Obr. 18.) Pouzdro může mít různá provedení. Pouzdro upevňujeme na frézovací trn za pomoci upínací vložky, ta se zasouvá svými výstupky do výstupku pouzdra. Trn poté do vložky pouze vsuneme a upneme upínacím šroubem, jenž se na vložku našroubuje. [13]

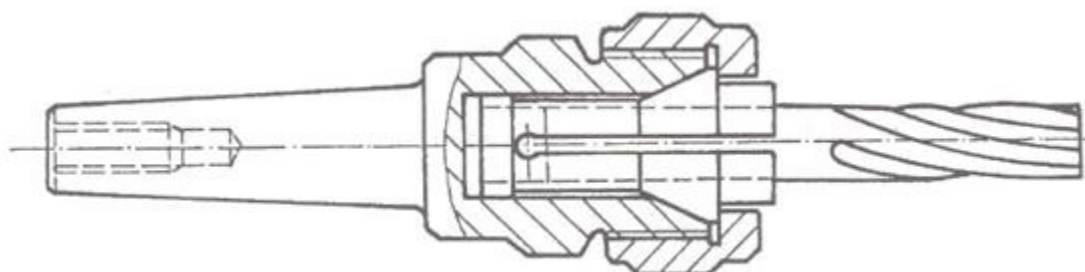


Obr. 18. Příklad redukčního pouzdra [13]

Frézovací trny jsou jak krátké tak dlouhé. Krátké trny používáme k upínání čelních nástrčných fréz. Pro unášení frézy při malých výkonech používáme podélné nebo příčné péra v drážkách trnů. Při větších výkonech slouží pro přenos krouticího momentu tzv. kameny. Ty jsou zasazeny do přírub frézovacího trnu. Dlouhé trny používáme převážně ve vodorovných nebo univerzálních konzolových frézách. Konec trnu je uložen v redukčním pouzdře druhý zase v posuvném (podpěrném) ložisku, jenž je na výsuvném rameni vodorovné frézy. Správné polohy docílíme díky použití rozpěrných kroužků, Ty se volně umísťují na trn. Pro zabránění samovolného pohybu trnu v průběhu frézování musíme frézu umístit co možno nejblíže k vřetenu nebo podpěrnému rameni.[13].

2.2.2. Upínání frézy s válcovou stopkou

Frézy, které mají válcovitou stopku, se upínají do upínacích hlav s kleštinou (Obr 19.). Dnes jsou nahrazovány hydraulickými a tepelnými (Obr 20) upínacími prostředky. Tepelné upínače zde dochází k upnutí frézy důsledkem smrštění materiálu, k tomu dochází kvůli rychlému ochlazení tělesa upínače, který byl zahřát obsluhou. Pro uvolnění frézy z upínacího zařízení ji musíme opět ohřát ve speciálním zařízení [15]..



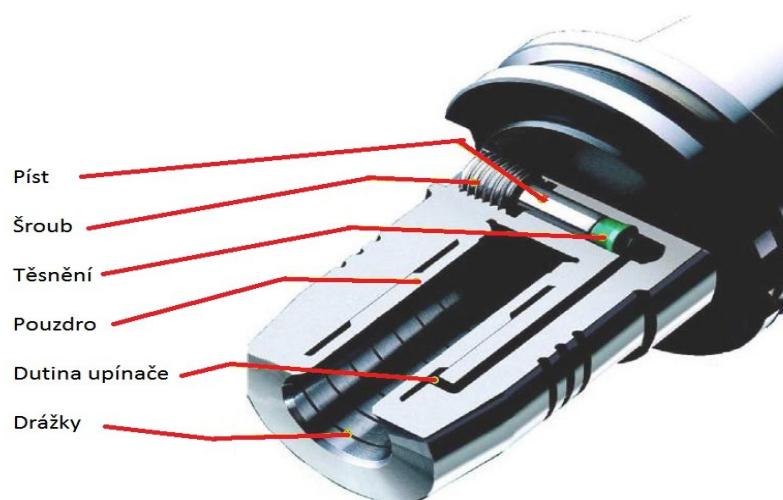
Obr. 19. Upnutí do kleštiny [13]



Obr. 20. Tepelné upínání frézy s válcovitou stopkou [9]

Hydraulický upínač je postaven na principu zvýšení tlaku oleje v upínači. Šroubem působíme na píst s těsněním, který se následně posouvá. Při utahování šroubu tak píst stlačí olej v dutině, čímž dojde ke zvýšení tlaku. Pouzdro je stlačeno a mírně zdeformováno, tím dochází k obepnutí stopky nástroje a jeho upnutí do upínače. Na vnitřní ploše pouzdra se nacházejí drážky, které slouží k odvedení případné mastnoty na stopce nástroje. [15]

Společnost SCHUNK Intec s.r.o., která nabízí nejvýkonnější hydraulický upínač, s výborným poměrem ceny a výkonu. Upínač TONDO E (Obr. 21) je schopen přenášet krouticí moment až 900Nm při upínacím průměru 20 mm. Dále je jeho předností skvělé tlumení vibrací a nízké obvodové házení nástroje. [24] Tepelné a hydraulické upínače se využívají také u číslicově řízených strojů



Obr. 21. Hydraulický upínač TONDO E [24]

Přednosti jejich použití je:

- Vysoká přesnost.
- Rychlá výměna nástroje.
- Vysoké upínací síly.
- Jednoduchá obsluha.
- Vysoká tuhost upnutí.

2.2.3. Upínání frézy s kuželovou stopkou

Frézy používající kuželové stopky upínáme přímo do vřetene stroje v případě rozdílných rozměrů se použije redukční pouzdro. Dutina vřetena musí mít stejný tvar jako je tvar kuželu frézy. Aby se zajistilo správného dosedu styčných ploch musíme zajistit jejich čistotu. [15].



Obr. 22. Fréza s kuželovou stopkou Morseho kužel. [25]

3. Princip upínání obrobků

Správné upnutí obrobku je důležité především z hlediska přesnosti obrábění. Následující kapitola uvádí některé druhy upnutí.

Požadavky pro upínání obrobků jsou:

- Správná pozice obrobku vůči nástroji.
- Jednoduchost upnutí.
- Dostačující tuhost a pevnost upnutí.
- Rychlost upnutí - závisí na velikosti tvaru, váze obrobku a na upínacím zařízení.
- Bezpečnost upnutí - musíme zajistit obrobek proti uvolnění, které mohou způsobit vnější síly působící na obrobek.
- Zajištění přenosu krouticího momentu (je-li potřeba).
- Odolnost proti vibracím.
- Životnost upínadla.
- Vyváženost a soustřednost rotující části.
- Musí dovolovat měření součástí.
- Musí dovolovat průchod třísek a nezadržovat řeznou chladicí kapalinu.

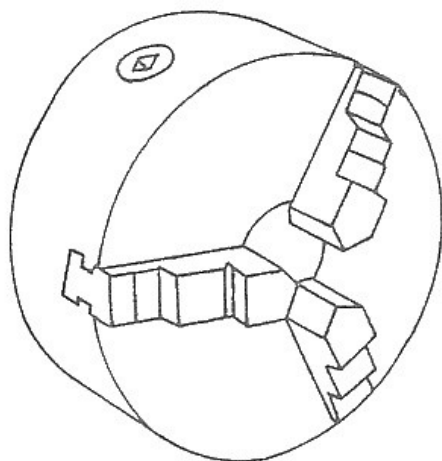
3.1. Soustružení

Pro upínání obrobku při soustružení musíme brát v potaz tvar, rozměr a hmotnost obrobku. Jako další parametry slouží požadována přesnost obrábění, poměr délky k průměru obrobku a nezapomínáme na typ soustruhu.

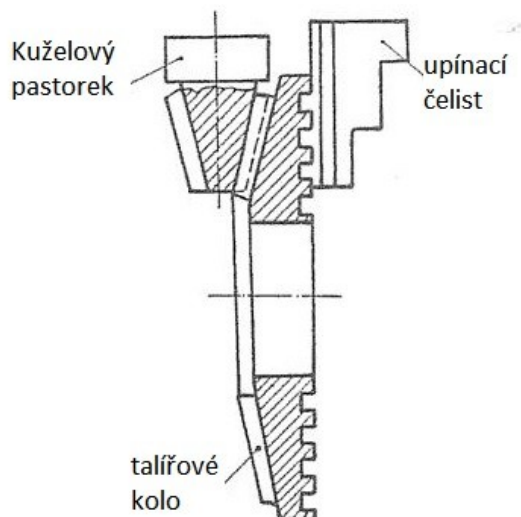
3.1.1. Univerzální sklíčidlo

Univerzální sklíčidla jsou nejčastěji používaný upínací prostředek na soustruzích. Využívají se jak kusové tak i sériové výrobě. Používají se pro upínání válcovitých součástí malých rozměrů, tak pro obrobky rozměrů větších. Při větších rozměrech obrobku je ale zapotřebí použít hrot koníku, do kterého se opře druhá strana obrobku. Obrobek můžeme upnout jak za vnější tak vnitřní plochu. Podle počtu upínacích čelistí rozdělujeme sklíčidla tří čelist'ová (Obr. 23) a čtyř čelist'ová. Aby nedocházelo k deformaci obrobku vlivem upínacích sil, je důležité upínat do sklíčidla pouze obrobky s dostatečnou tuhostí, nebo použít vhodný druh čelistí vhodné pro daný druh obrobku. [12] [13]

Hlavní části sklíčidla jsou znázorněny na Obr.24. Důležitou částí sklíčidla je talířové kolo obsahující kuželové ozubení, a na jeho čele je drážka ve tvaru spirály, do kterých musí zapadat zuby na upínacích čelistech. Po obvodu talířového kola jsou rozmístěny kuželové pastorky, ve kterých se nachází otvor pro utahovací klíč. Čelisti se mohou přibližovat ke středu nebo od středu oddalovat v závislosti zda chceme obrobek uchytit sevřením nebo roztážením. [17]



Obr. 23. Univerzální sklíčidlo [13]

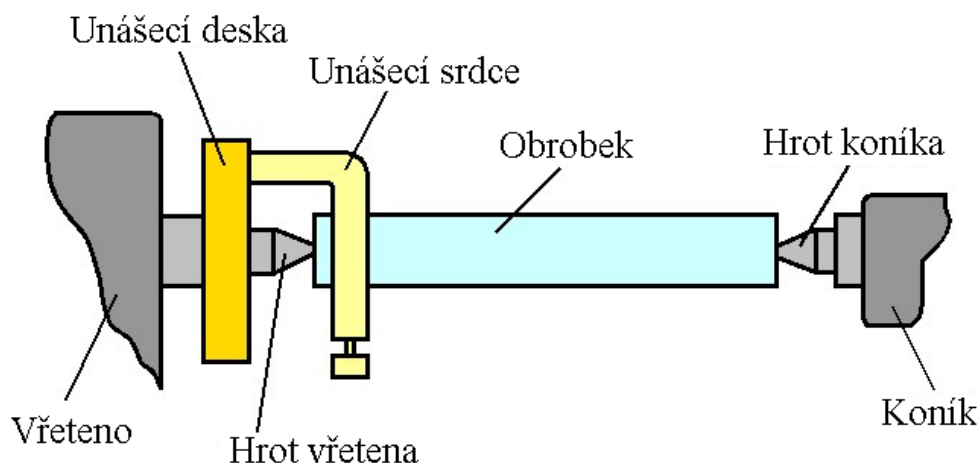


Obr. 24. Řez sklíčidlem [13]

Pomocí čtyř čelist'ového sklíčidla se upínají jak válcové tak i hranaté součásti. Způsob upínání obrobku do těchto sklíčidel je shodný se sklíčidly tří čelist'ovými. To samé platí i pro jejich konstrukci. Při upnutí součásti s hrubým povrchem (nepřesný kruhový průřez) dochází k upnutí pouze dvěma čelistmi, zbývající čelisti nedosáhnou na povrch obrobku, jelikož je součást špatně upnuta obrábění se stává nepřesným a i nebezpečným.[17]

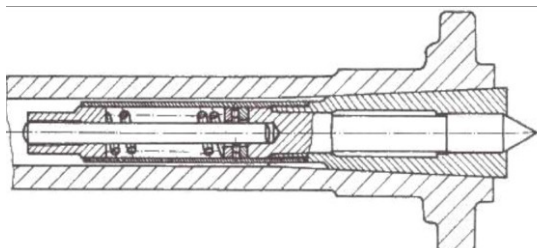
3.1.2. Upínání mezi hroty

Mezi hroty upínáme obrobky s delšími rozměry a obrobky u kterých vyžadujeme vyšší přesnost obrábění. Předtím než obrobek upneme, musíme jej zarovnat na jeho čelech a navrtat středící důlky. Vrcholy středících důlku mohou mít různé tvary obvykle se, ale používá úhel 60° . Při působení velkých řezných sil, neb při těžkých obrobkách, se pro zvýšení únosnosti hrotu zvýší úhel na 90° .

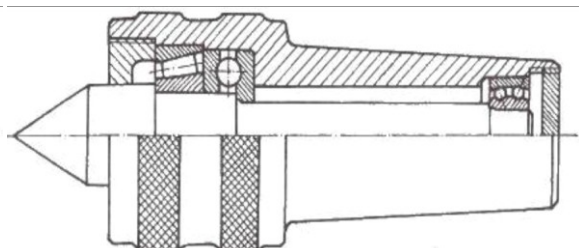


Obr. 25. Upnutí hroty [15]

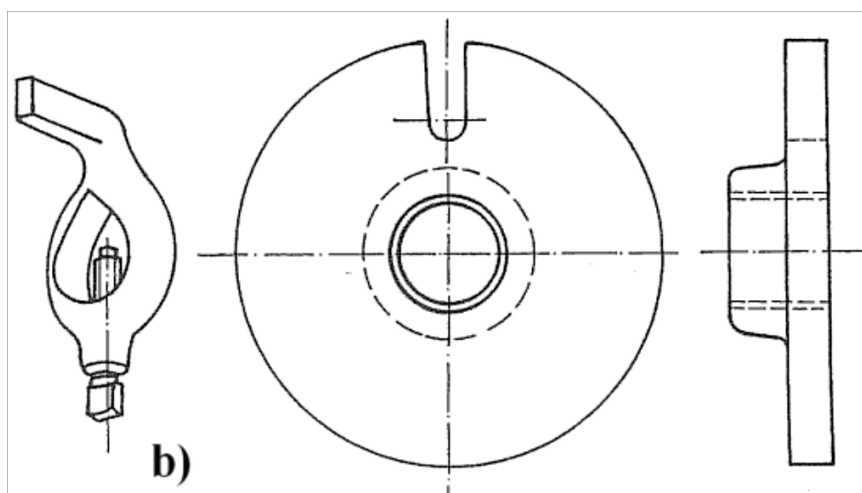
Při procesu obrábění se otáčivý pohyb vřetene přenáší za pomoci unášecího srdce (Obr.28.) na obrobek, jenž je za pomoci šroubu upnuto na konci obrobku. Na vřetenu soustruhu je připevněna unášecí deska, jenž předává pohyb vřetene na unášecí srdce.



Obr.26. Odpružený hrot vřetene. [13]



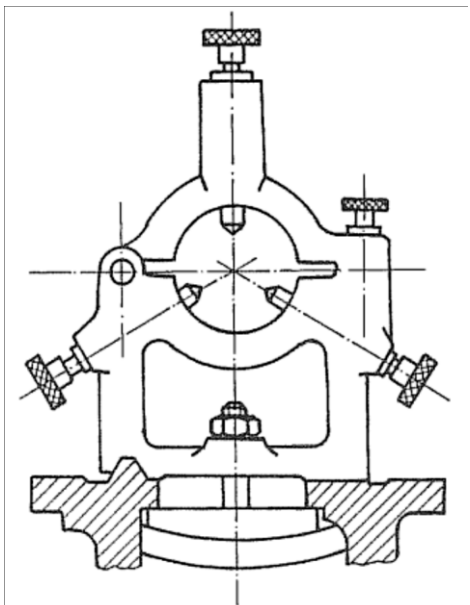
Obr. 27. Otočný hrot koníka. [13]



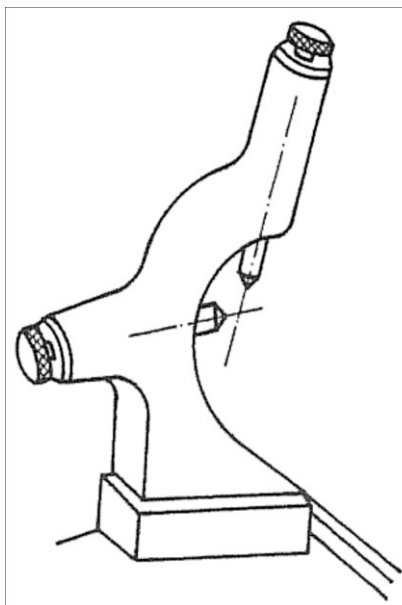
Obr. 28. Unášecí srdce s unášecí deskou.[13]

3.1.3. Opěry

Pokud je poměr délky k průměru obrobku příliš veliký je nutné takovýto obrobek podepřít lunetami (Obr. 29) nebo opěrami (Obr. 30). Ty můžeme připevnit přímo k loži soustruhu, anebo na suport naproti nožové hlavě, přičemž se společně s nástrojem posouvají podél součásti. Opěrky pevně upnuté k loži soustruhu můžeme použít například při vnějším soustružení nebo zarovnávání čela dlouhého obrobku, jeho vrtání a vyvrtávání.[13]



Obr. 29. Luneta pevná upnutá k loži [13]



Obr. 30. Opěra upnutá k suportu [13]

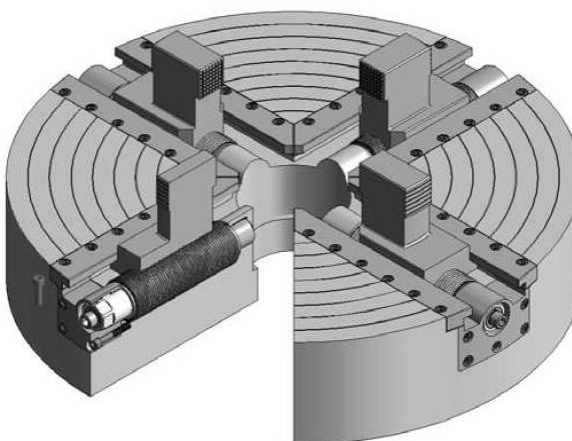
3.1.4. Upínací deska

Upínací desku (Obr. 31.) používáme pro upínání rozměrných a těžkých obrobků, nepravidelných tvarů především v kusové a malosériové výrobě je vhodná pro upínání obrobku, u kterých nelze použít univerzální sklíčidlo. Výhoda těchto upínacích desek je to že k ni můžeme připojit i jiné upínací prvky, např. upínací uhelníky. [17]

Upínací deska vzhledem a funkcí připomíná univerzální sklíčidlo. Rozdíly mezi nimi je ale ve tvaru, rozsahu použití velikosti a konstrukci upínacího zařízení. Největší rozdíl je v tom, že upínací deska má každou upínací čelist nezávislou na ostatních. Proto můžeme každou čelist nastavit tak, jak potřebujeme. Nastavení se provádí za pomoci šroubu s dírou pro nástrčný klíč. Nejpoužívanější je čtyř čelist'ová upínací deska. Pro zachycení správné polohy jednotlivých čelistí slouží čep s maticí a podložkou nacházející se na zadní straně kotouče. Tím docílíme pevnějšího a spolehlivějšího upnutí obrobku než na univerzálním sklíčidle. [17]



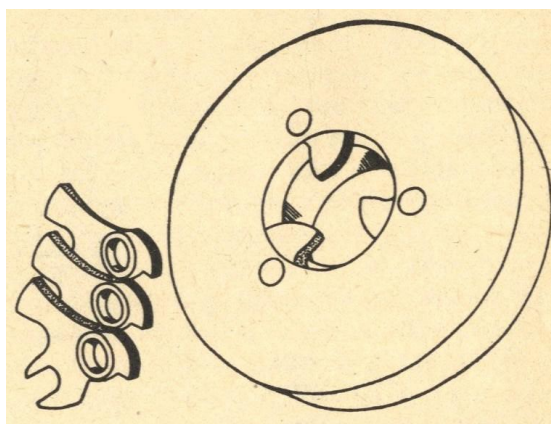
Obr. 31. Upínací deska. [9]



Obr. 32. Řez upínací desky. [9]

3.2.5. Upínání obrobků u číslicově řízených soustruhů

Obrobky do CNC soustruhů upínáme sklíčidla na kličku viz kap. 3.1.1., hydraulická nebo pneumatická sklíčidla, ale i za pomoci samosvorných sklíčidel (Obr.33). Při obráběcí operaci působí na obrobek vysoké odstředivé síly, a proto klademe na upínací sílu vyšší požadavky. Ta se reguluje pomocí automatického systému a pro bezpečnost je ještě kontrolována čidlem. [15]



Obr. 33. Samosvorné sklíčidlo. [9]

3.2. Frézování

Při frézování z důvodu současného působení několika zubů frézy vznikají velké řezné síly, proto musíme obrobek spolehlivě upnout a zajistit že setrvá ve správné poloze v průběhu celého procesu frézování. Zároveň však nesmíme vlivem upínací síly zapříčinit deformaci obrobku. [12] [13]

3.2.1. Strojní svěráky

Pro upnutí malých a tvarově jednoduchých obrobků volíme strojní svěráky. Obrobek ve svěráku ustavujeme za pomoci kovových podložek. Svěráky mohou být konstrukce otočné, viz Obr.34, pevné sklopné, prizmatické, samostředící Obr.35(pro upnutí krátkých válcových obrobků). Ovládat je můžeme ručně hydraulicky nebo pneumaticky. [12]

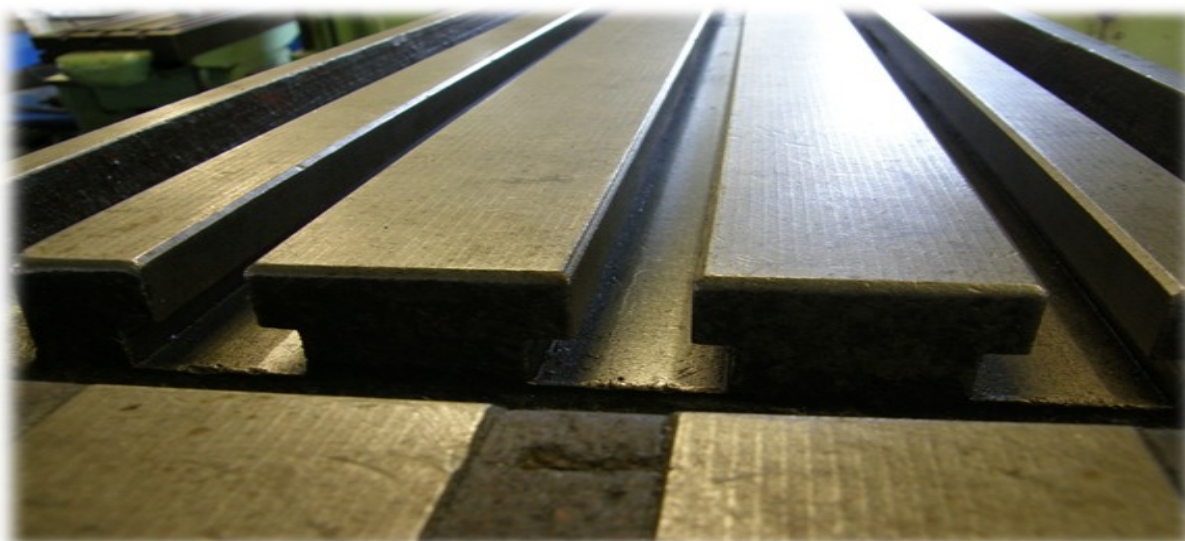


Obr. 34. Strojní svěrák otočný, sklopný. [18]



Obr. 35. Samostředící svěrák. [18]

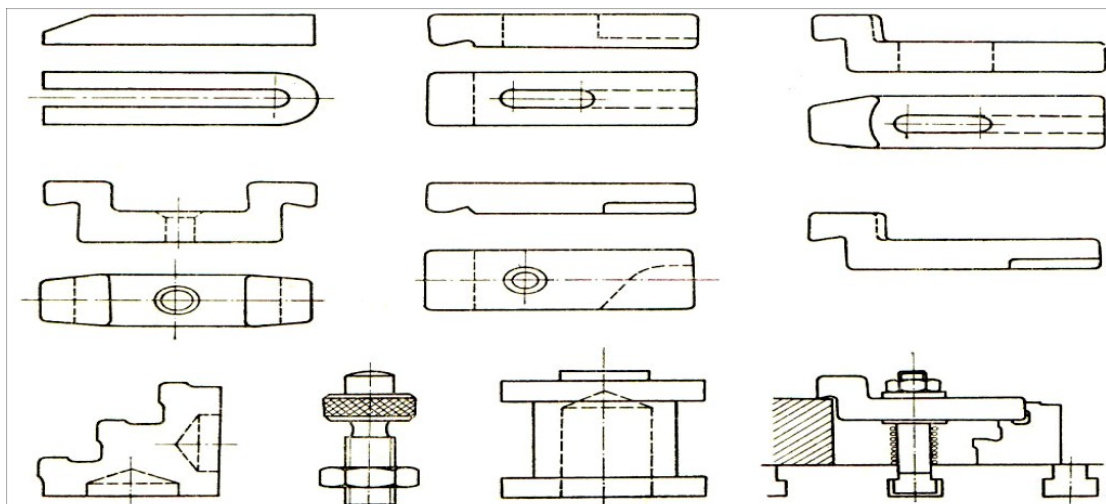
Strojní svěrák upevňujeme na pracovní stůl frézky. Musíme zajistit jeho polohu a sílu upnutí ke stolu za pomoci upínacích šroubů s čtyř hrannými hlavami, které vsunujeme do T-drážek ve stole viditelné na Obr.36. Musíme zajistit, aby byl svěrák umístěn tak, aby čelisti byly buď kolmo nebo rovnoběžně s drážkami ve stole. Pro přesné ustavení obrobku ve svěráku je zapotřebí, aby byly dosedací plochy řádně vyčištěny. Pokud do svěráku upínáme tenký obrobek, potom je důležité jej upnout za použití minimálního vyložení. Je to nutné proto, aby se zabránilo poškození frézy při samotném obrábění.



Obr. 36. T-drážky ve stole. [9]

3.2.2. Upínací pomůcky a upínací přípravky

Obrobky větších rozměrů upínáme přímo na pracovní stůl frézy. Za pomoci upínacích pomůcek různých typu se obrobek upevní ke stolu frézy za pomoci šroubů. Upínací pomůcky mohou být: opěrky upínky podpěry. Příklady můžeme vidět na následujícím obrázku.[15]

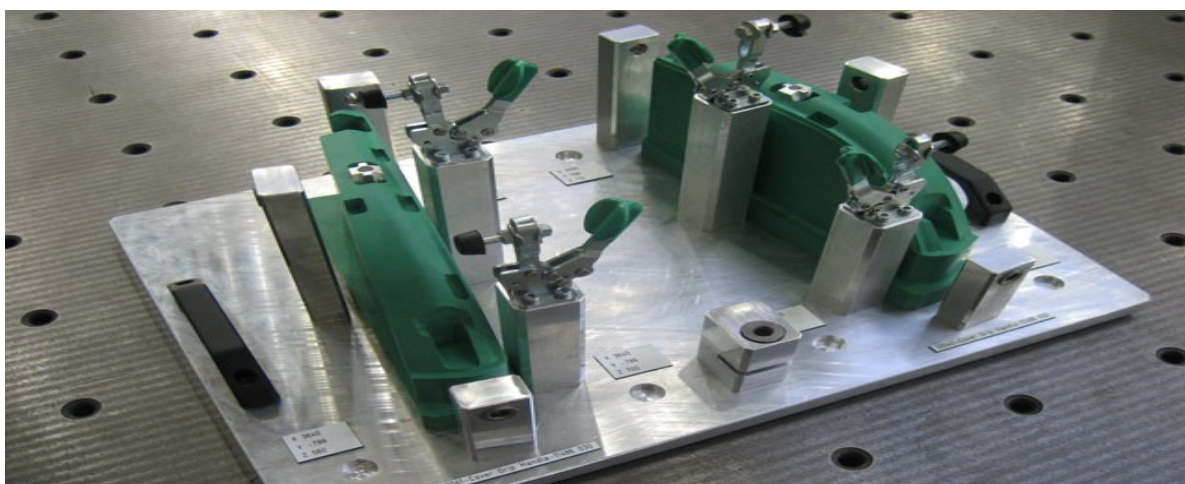


Obr. 37. Příklad upínek a podpěr [15]

Upínací přípravky jako na Obr. 38. Jsou výrobní pomůcky sloužící k upnutí obrobků složitějších tvarů a rozměrů. Obrobek se upíná rychle a s vysokou přesností, čímž se usnadňuje práce při ustavování obrobku do správné polohy a zkrátí se tak celkový čas obrábění. Upínací přípravky musí splňovat jisté konstrukční požadavky například:

- Tlumení chvění.
- Odvod vzniklých řezných sil působících při obrábění.
- Nižší hmotnost (z důvodu manipulace přípravkem).

Přípravky mohou být jednoúčelové používané v sériové výrobě, nebo víceúčelové používané v kusové výrobě.[19]



Obr. 38. Upínací přípravek [20]

4. Vliv tuhosti stroj- obrobek- nástroj na procesy obrábění

Při obrábění vzniká chvění v soustavě stroj – nástroj – obrobek. Toto vzniklé chvění je často malé, a nemá nepříznivé účinky. Vyskytují se však případy, kdy je toto chvění, je velkým zdrojem příčin, proč se nástroj rychle opotřebovává. Účinky chvění se projevují ve více směrech:

- Obráběný povrch má charakteristickou vlnitost, jejíž důsledkem se snižuje přesnost tvaru a drsnost povrchu se zvyšuje, vznikají rozdílné výrobky.
- Nástroje vyrobené z nástrojových ocelí se rychle otupují, nástroje z keramického materiálu mají za chvění sníženou použitelnost a mohou praskat.
- Zvyšuje se opotřebení stroje a často se porušují spoje v obráběcím stroji

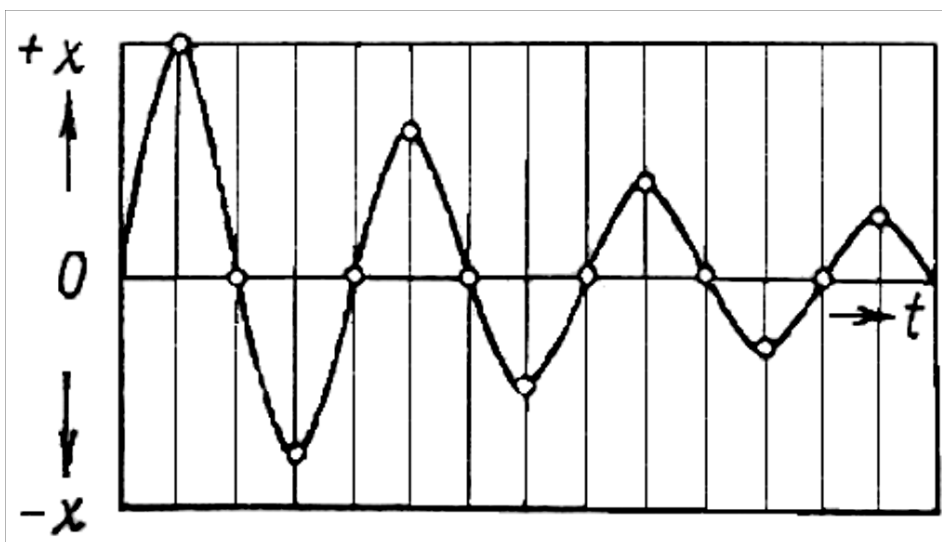
Z fyzikálního hlediska se mohou vyskytovat tyto druhy kmitů:

- Vlastní kmity
- Vynucené kmity
- Samobuzené kmity

[21]

4.1. Vlastní kmity

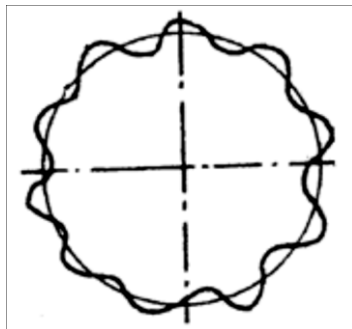
V soustavě stroj- nástroj- obrobek, jsou vyvolány nárazy např. při zapínání zubové spojky, při záběru nástroje, atd. povětšinou je vliv vlastních kmitů při procesu obrábění zanedbatelný, jelikož se kmitání rychle utlumí. Vlastní kmity se udržují působením sil pružnosti. Perioda a frekvence není závislá na počáteční výchylce ani na počáteční rychlosti kmitání.



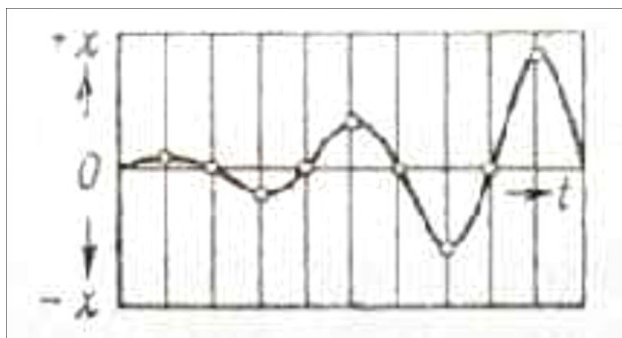
Obr. 39. Průběh vlastních kmitů zaznamenaný v čase [21]

4. 2. Vynucené kmity

Kmitavý pohyb může vzniknout působením pružných sil i kvůli působení periodické síly, jejíž perioda se odlišuje od periody vlastních kmitů. Frekvence vynucených kmitů se shoduje s frekvencí budící síly. Vynucené kmity pokaždé doprovází vlastní kmity je to způsobeno odkláněním tělesa od rovnovážné polohy a tak vznikají pružné síly snažící se dostat těleso do rovnovážné polohy. [21]



Obr. 40. Úchyly kruhovitosti volané nevyvážeností broušení [21]



Obr. 41. Průběh vynuceného kmitání zaznamenaný v čase [21]

4.2.1. Příčiny vzniku vynucených kmitů

Vynucené kmity v soustavě stroj- nástroj- obrobek můžeme přisuzovat

- Přenos kmitů z venku přes základ, působené chvěním sousedních strojů.
- Nevyvážením otáčejících se součástí stroje, obráběný předmět anebo otáčející se nástroj.
- Setrvačné síly součástí stroje, jenž mění směr otáčení .
- Chybami v převodech strojů.
- Kmity, jejichž frekvence je rovna otáčkám frézy. Zdrojem těchto kmitů je házení frézy.
- Kmity, jejichž frekvence je rovna součinu počtu otáček frézy n a počtu zubů z . Kmity jsou vyvolány okamžitou změnou průřezu třísky odebírané každým zubem a změnou zubů v záběru.

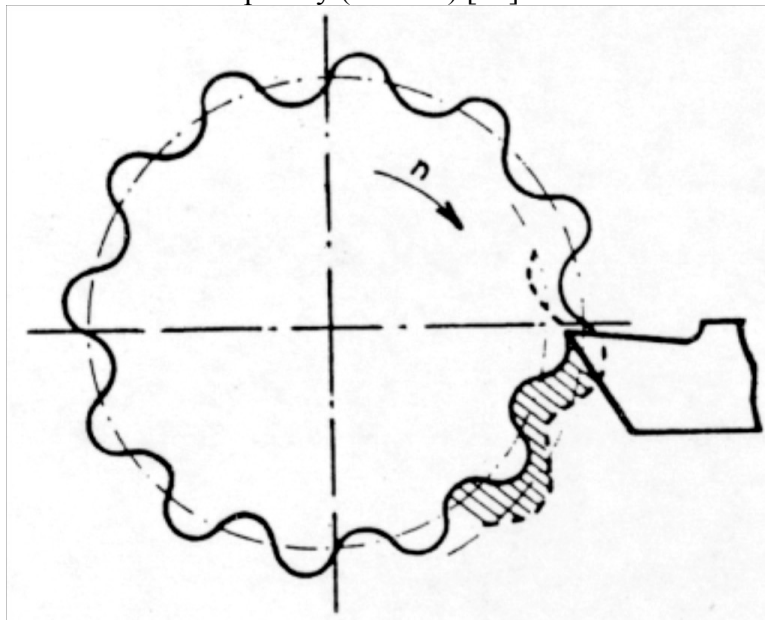
4.2.2. Odstranění nevynucených kmitů

S výše uvedeným nabývají otázky o odstranění vynucených kmitů

- **Základování:** Vhodnými základy obráběcích strojů můžeme zamezit přenášení kmitání mezi stroji.
- **Vyvážení rotujících součástek:** Tyto chyby můžeme odstranit použitím nesešíváných řemenů, zvýšením přesnosti ozubených kol apod.
- **Vyvarování se rezonanční oblasti:** Toho můžeme docílit změnou otáček, v důsledku čeho se změní frekvence budící síly a tím i oblast rezonanční křivky.
- **Zmenšení průřezu třísky:** Tento způsob zmenšuje objem odebíraného materiálu, z toho důvodu se používá v krajních případech.
- **Použití pohlcovačů případně tlumičů chvění:** používají se různé konstrukční tlumiče ale i setrvačníky, nebo torzní tlumiče chvění. Torzní tlumiče je výhodné použít při frézování s válcovými frézami na univerzálních frézách. Kmitání se tlumí důsledkem tření mezi kotoučem a plochami volně se otáčejícího setrvačníku.[21]

4.3. Samobuzené kmity

Tyto kmity bezprostředně souvisí se samotným řezným procesem a jeho nestabilitou. Příčinou může být uvolnění nárůstku, tvorba třísky, tvrdší složky ve struktuře obrobku, nepravidelný přírůstek na povrchu obráběné plochy, opotřebení pracovní plochy nástroje atd. Samobuzené kmitání se projevuje zvukem o vysoké frekvenci, stopami na povrchu obrobene plochy a úchylkami tvaru obrobene plochy.(vlnitost) [22]



Obr. 42. Vlnitost.[22]

4.3.1. Příčiny vzniku samobuzených kmitů

Prvotní impuls, jenž dodává podmět ke vzniku samobuzených kmitů, neumíme přesně vysvětlit. Jako příčina se udává síla, která souvisí s periodickým tvořením nárůstku. Podle současných poznatku můžeme uvést tyto příčiny kmitání:

- Tření zvětšením řezné síly mezi nožem a třískou.
- Plasticke deformace v zóně tvorby třísky.
- Změna průřezu třísky nebo uhlu řezání důsledkem vln na řezné ploše.

4.3.2. Odstraňování samobuzených kmitů při obrábění

- **Změnou řezných poměrů:** kmitání v radiálním směru můžeme zmenšit anebo ztlumit navýšením řezné rychlosti a posuvu. Kmitání můžeme také odstranit změnou hloubky řezu, tu však můžeme pouze zmenšovat.
- **Změnou geometrie nástroje:** kmitání tak můžeme odstranit anebo alespoň zmírnit. Dosáhneme to díky změně hlavního úhlu, poloměru zaoblení nože, zvětšením uhlu čela.
- **Snížování drsnosti povrchu částí nástroje a používání řezných kapalin:** snížením drsnosti povrchu řezné části nástroje a použitím řezné kapaliny se zmenšuje tření mezi třískou a čelem nože, ale i hřbetem nože a obrobenou plochou. Snížením tření se snižuje řezná síla, snižuje se její závislost na řezné rychlosti a tím se snižuje kmitání.
- **Zvýšením tuhosti:** dostatečná tuhost soustavy je důležitá pro zabránění vzniku chvění. Navýšit tuhost strojů můžeme např. odstraněním vůlí mezi vřetenem a ložisky, pinolou a tělesem koníku, suportem a ložem, používáním neopotřebovaných hrotů, použití lunet atd. [22]

5. Návrh optimalizace řezných podmínek

Cílem experimentální části bylo ověřit na reálně používaném nástroji, vliv jeho vyložení na proces frézování, jakost povrchu a na nastavení řezných podmínek pro frézování oceli S355. Pro testování jsem zvolil tři různé délky nástroje.



Obr. 43. Použité nástroje seřazené podle délky

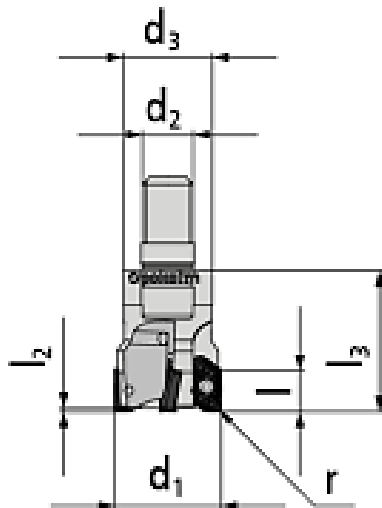
5.1. Nástroje

Testování proběhlo na víceosém obráběcí centru LU-800 firmy LITZ



Obr. 44. Více osé obráběcí centrum LU-800 [23]

Pro testování byla vybrána pěti břitá fréza 5 42 267 firmy Pokolm, řada Slotworx.



Obr. 45. Schéma frézy



Obr. 46. Fréza

Fréza $d_1=42$

Připojovací rozměr $d_2=16$

Rohový rádius $r=1$

Destička $l=10$

Hloubka utápění $l_2=2,5$

Užitná délka $l_3=43$

Obdélníkové břitové destičky 04 67 837



Obr. 47. Břitové destičky

Posuv f_z (mm)	0,05-0,25
Hloubka záběru a_p (mm)	0,1-5,0
V_c hrubé	120 160 200

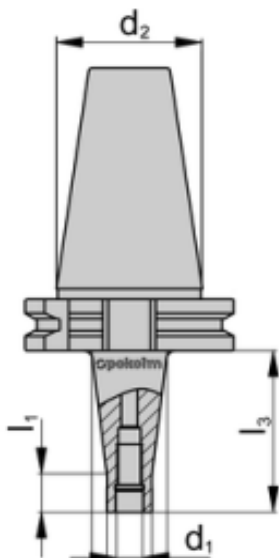
Obr. 48. Rozmezí hodnot pro posuv a úběr

Tloušťka $s = 3,58$

Výška $l = 10$

Rohový rádius $r = 1$

Upínání frézy s vnitřním závitem 25 16 750, 75 16 750.



Obr. 49. Schéma upínání



Obr. 50. Upínka 25mm



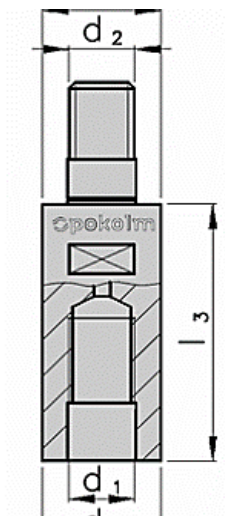
Obr. 51. Upínka 75mm

Vstup pro rozměr $d_1 = 16$

Připojovací rozměr $d_2 = 40$

Užitná délka $l_3 = 25$ a 75

Prodloužení pro frézu. 16 40 780



Obr. 52. Schéma prodloužení



Obr. 53. Prodloužení

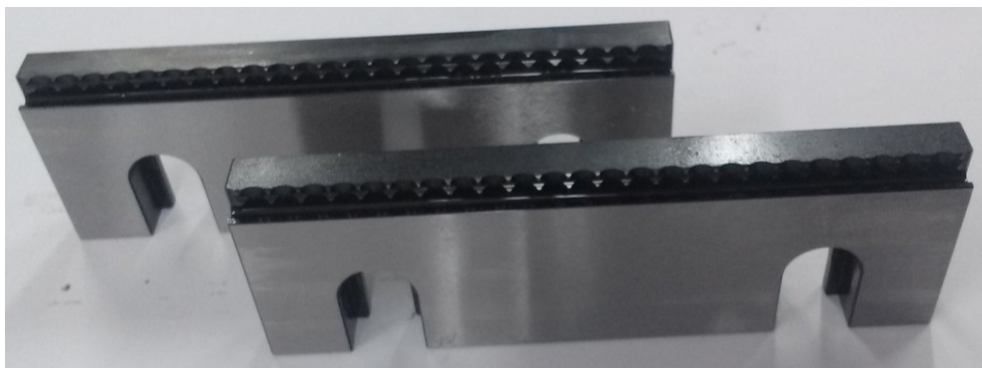
Připojovací rozměr $d_{1,2} = 16$

Užitná délka $l_3 = 40$

Pro upevnění obrobku jsem použil strojní svěrák gressel gripos s čelistmi 125



Obr. 54. Strojní svěrák



Obr. 55. Čelisti GRIP pro strojní svěrák

5.2. Materiál

Jako materiál pro test byla použita ocel S 355, tato ocel se vyznačuje mezí kluzu v tahu $R_e = 355$ (Mpa) mezí pevnosti v tahu $R_m = 510$ (Mpa), a je používána pro konstrukční účely.

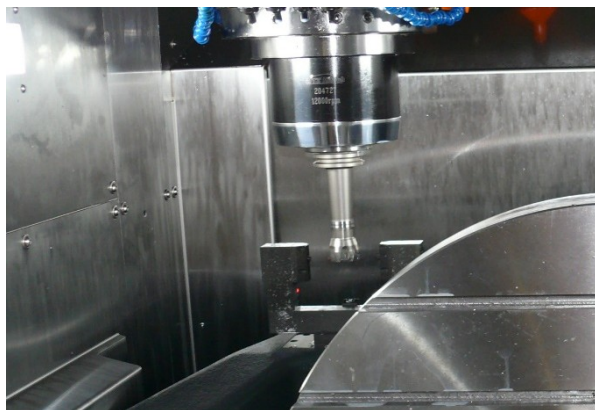


Obr. 56. Použitý materiál.

5.3. Příprava nástrojů

Před samotným frézováním se musely nástroje proměřit. Proto je na zadní straně stolu umístěn měřicí laserová sonda BLUM. Měření se provádí ve třech krocích za použití laseru. Jako první se zjišťuje délka nástroje. Frézka roztočí frézu, která v daný moment brání paprsku v průchodu k receptoru. Pomalým zdvihem frézy se zprůchodní cesta paprsku a v daný okamžik se zaznamená délka nástroje. Průměr nástroje se zaznamenává podobně jako jeho délka, měří se průměr na hranách břitových destiček. Posledním měření se provádí za snížené rychlosti otáček a zjišťuje se při něm, zda není poškozena některá z použitých břitových destiček. Toto měření se provádí také v případě výměny břitových destiček.

Tato měření se opakují ve třech opakováních. Pokud je vše v rámci nastavených tolerancí, frézka pokračuje v zadané činnosti, ale v případě vyšších odchylek je obsluha vyzvána ke kontrole použitého nástroje nebo měřicího zařízení.



Obr. 57. Umístění měřicí laserové sondy



Obr. 58. měření laserovou sondou

5.4. Test č.1.

Pro první test byl použit nejkratší nástroj s délkou. $L = 86,64$ mm. Otáčky vřetene byly nastaveny na $n = 1213$ ot/min. Rychlost posuvu na zub byla zvolena $F_z = 0,12$ mm rychlost posuvu byla $F = 728$ m/min. Úběr byl nastaven na velikost $a_p = 2$ mm, Prochlazení byl použit vzduch. Řezná rychlost $V_c = 160$.



Obr. 59. Průběh frézování



Obr. 60. Výsledný povrch

Vyhodnocení

Při testu vykazovala fréza klidný chod bez slyšitelných vibrací. Povrch byl hladký viditelných vad.

5.5. Test č.2.

Pro druhý test byl použit středně dlouhý nástroj s délkou. $L = 137,77$ mm. Otáčky vřetene byly ponechány na $n = 1213$ ot/min. Rychlost posuvu na zub byla také ponechána $F_z = 0,12$ mm rychlost posuvu byla $F = 728$ m/min. Úběr byl nastaven na velikost $a_p = 2$ mm, Prochlazení byl použit vzduch. Řezná rychlost $V_c = 160$.



Obr. 61. Průběh frézování



Obr. 62. Výsledný povrch

Vyhodnocení

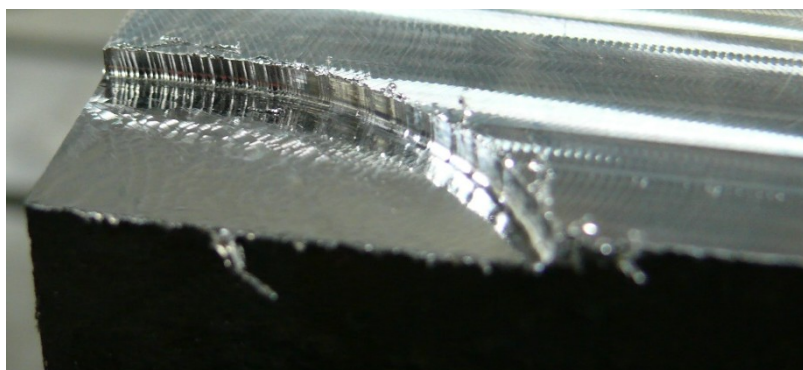
Při tomto testu fréza vydávala mírně odlišný zvuk, než tomu bylo u testu č. 1. Ale nevykazovala slyšitelné vibrace. Povrch byl hladký avšak s viditelným zvlněním, které bylo symetrické.

5.6. Test č.3.

Pro třetí test byl použit nejdelší nástroj s délkou. $L = 176,74$ mm. Otáčky vřetene byly ponechány na $n = 1213$ ot/min. Rychlost posuvu na zub byla také ponechána $F_z = 0,12$ mm rychlost posuvu byla. $F = 728$ m/min. Úběr byl nastaven na velikost $a_p = 2$ mm. Prochlazení byl použit vzduch Řezná rychlost $V_c = 160$.



Obr. 63. Průběh frézován



Obr. 64. Výsledný povrch

Vyhodnocení

Při tomto testu fréza okamžitě začala vibrovat. Tyto vibrace doprovázel charakteristický zvuk a z tohoto důvodu byl test přerušen. Nebylo možno porovnat kvalitu povrchu, ale bylo viditelné, že hrana materiálu byla značně rozkmitaná. Proto se již nepokračovalo v testování za stanovených podmínek, kde by mohlo dojít k nevratnému poškození nástroje.

5.7. Test č.3. Po snížení parametru

Pro druhou část třetího testu byl ponechán nejdelší nástroj s délkou. $L = 176,74$ mm. Avšak byly změněny Otáčky vřetene a to na $n = 774$ ot/min. Rychlost posuvu na zub byla taky snížena a to na $F_z = 0,036$ mm rychlost posuvu byla snížena na. $F = 141$ m/min. Úběr byl snížen na velikost $a_p = 1$ mm, Řzná rychlost $V_c = 102$.



Obr. 65. Výsledný povrch

Vyhodnocení

I po snížení parametrů frézování bylo zřejmé, že fréza vibruje. Vibrace byly ovšem příznivější ale i přesto byl test předčasně ukončen. Povrch, jenž byl opracován byl i na pohled drsnější, ale zato nevykazoval známky zvlnění. Rozdíl mezi povrchem byl však patrný již na první pohled. Oproti hladkým řezům vznikajícím při druhém testu jsou na řezech třetího testu patrné vlivy vibrací, jak lze vidět na Obr. 65. Navíc jsme se dostali s řeznou rychlostí V_c pod hodnoty stanovené výrobcem.



Obr. 66. Rozdíl řezu

6. Závěr

Dle předpokladu bylo prokázáno, že nejvhodnější délka pro frézování je ta nejkratší (86,64mm). Při použitých parametrech frézování kdy byly otáčky vřetene nastaveny na $n=1213\text{ot/min}$. Rychlost posuvu na zub byla zvolena $F_z=0,12\text{mm}$, rychlost posuvu byla $F=728\text{m/min}$. Úběr byl nastaven na velikost $a_p=2\text{mm}$, a řezná rychlost $V_c=160$. Byl očekáván hladký průběh testu s touto délkou nástroje. Test proběhl bez komplikací, nedoprovázely ho žádné zaznamatelné vibrace. Z toho vyplývá, že životnost takového nástroje bude vysoká.

Při použití střední délka nástroje (136,77mm) a stejných parametru frézování. Jsem očekával výskyt vibrací, ale v průběhu testu nebyly pozorovány. Avšak při kontrole drsnosti povrchu bylo zřejmé že se při testu projevila délka nástroje, jelikož bylo viditelné zvlnění frézovaného materiálu, jak bylo patrné na obrázku Obr. 62.

Při použití nejdelšího nástroje (176,64mm), a stejných řezných podmínek jako v předchozích případech, se předpokládal výskyt vibrací. Tyto vibrace byly natolik silné, že se test musel krátce po začátku frézování přerušit. Přistoupili jsme ke snížení parametru testování kdy byly Otáčky vřetene byly $n=1213\text{ot/min}$. Rychlost posuvu na zub byla $F_z=0,12\text{mm}$ rychlost posuvu byla. $F=728\text{m/min}$. Úběr byl nastaven na velikost $a_p=2\text{mm}$. Řezná rychlost $V_c=160$. Na parametry kdy byly otáčky vřetene $n=774\text{ot/min}$. Rychlost posuvu na zub $F_z=0,036\text{mm}$ rychlost posuvu. $F=141\text{m/min}$. Úběr byl snížen na velikost $a_p=1\text{mm}$, a řezná rychlost $V_c=102$. Předpokládali, jsme že se vibrace sníží dostatečně, aby mohl být test dokončen. I když se vibrace značně snížily nadále byly přítomny, a proto byl test ukončen před dokončením frézování. Takovéto vibrace by měly za následek snížení životnosti nástroje, ne-li jeho zničení již během krátkého frézování.

Na vině nemusela být samotná délka nástroje ale i to že bylo použito prodloužení a s tím i další šroubový spoj. Z toho důvodu by bylo vhodnější zvolit upínací nástavec o délce 115mm bez přídavného šroubového spoje. nejvhodnějším řešením by bylo nahradit upínací nadstavec se šroubovým spojem za nadstavec s hydraulickým nebo tepelným upínáním o potřebné délce.

Podle výše zjištěného vyplývá že je ideální je vždy použít co nejkratší délku upnutí. pokud už musíme použít delší nástroj abychom se dostali do požadovaného místa frézování tak i přesto volíme to nejkratší možné upnutí, které nám dovolí provést potřebnou operaci.

Použité informační zdroje

- [1] NĚMEC K., 1972: Kvalifikační příručka obráběče kovů. 1. vydání, Praha: ROH., 200 s
- [2] ŠČERBEJOVÁ M., 1993: Strojírenská technologie 1. vydání, Vysoká škola zemědělská v Brně, 132 s., ISBN 80-7157-083-4
- [3] Tvar třísky a geometrie nástroje část [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1816>
- [4] HLÁSEK, Pavel. Strojírenská technologie 3. 1. vydání. Praha: SNTL, 1986. 264 s. OPLATEK, František. Číslicové řízení obráběcích strojů. 1. vydání. Praha: FRAGMENT, 1998. 64 s. ISBN 80-7200-294-5.
- [5] ŘASA, J., Gabriel, v. strojírenská technologie 3- metody, stroje nástroje pro obrábění 1. díl. 2.vydání. Praha: scienta, spol. r. o., 2005. 256 s. isbn 80-7183-337-1.
- [6] Soustružení obr. [online]. Dostupné z: <http://oilgk.ru/wp-content/uploads/2015/05/tokarnaya-obrabotka.jpg>
- [7] Frézování obr. [online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/maximalni-vykon-při-frézování-do-rohu.html>
- [8] Vrtání obr. [online]. Dostupné z: www.kutiluvraj.cekuj.net
- [9] Obr. [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1826>
- [10] Číslicové řídicí systémy. [online]. Dostupné z: <http://vkonar.ic.cz/>
- [11] ŘASA J., POKORNÝ P., GABRIEL V., 2001: Strojírenská technologie 3 - 2díl. 1. vydání, Praha: Scientia, ISBN 80-7183-227-8
- [12] Technologie strojního obrábění. [online]. Dostupné z: <http://mail.sstzr.cz/web/download/cat1/technologie-strojního-obrabení.pdf>
- [13] SOVA, František. Technologie obrábění a montáže. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001, 273 s. ISBN 80-7082-823-4
- [14] Elektronický zásobník nástrojů [online]. Dostupné z: <http://www.alsolid.cz/data/hostedit2/userfiles/cnc%20zasobnik.jpg>
- [15] HUMÁR, Anton. Technologie I: Technologie obrábění - 1. část [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2003, 138 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [16] Kuželová stopka [online]. Dostupné z <http://www.stimzet.cz/images/241245g.gif>
- [17] JANYŠ, Bohumil a Karel RAFTL. Upínání obrobků na soustruhu. 1. vyd. Praha: SNTL, 1961, 115 s.
- [18] Upínání obrobků. [online]. Dostupné z: http://dl.uk.fme.vutbr.cz/stored_files/2386.file
- [19] Upínací přípravky. [online]. Dostupné z: <http://strojirenstvi-frezovani.blogspot.cz/2011/03/81-upinaci-pripravky.html>
- [20] Upínací přípravek [online] Dostupné z: http://www.novrat.cz/pripravky_produkty.php
- [21] Buda, J. – Békés, J.: Teoretické základy obrábění kovov. Alfa Bratislava, 1997.
- [22] Kocman, K., Prokop, J.: Technologie obrábění. CERM Brno, 2001. ISBN 80 – 214 – 1996 - 2
- [23] Obr LU 800 [online]. Dostupné z <http://www.litzhitech.com/index.php>
- [24] Nejsilnější hydraulický upínač nástrojů všech dob. Technický týdeník. 2012, roč. 60, č. 18. ISSN 0040-1064
- [25] Obr [Online]. dostupné z :http://www.zps-fn.cz/root/_temp/products/frezy-HSS/12_410940_1.jpg

Použité obrázky

Obr. 1. Pohyby při obrábění	4
Obr. 2. Popis soustružnického nože	5
Obr. 3. Dělení třísky	6
Obr. 4. Opotřebený nástroj	7
Obr. 5. Soustružení	9
Obr. 6. Frézování	10
Obr. 7. Vrtání	11
Obr. 8. Hoblování a obrážení	12
Obr. 9. Protlačování	13
Obr. 10. Broušení	14
Obr. 11. Soustružnický nůž vnitřní	17
Obr. 12. Soustružnický nůž	17
Obr. 13. Upínání nožů otočnou nožovou hlavou	17
Obr. 14. Upínání v revolverové hlavě	18
Obr. 15. Elektronický zásobník nástrojů	18
Obr. 16. Pohyby při frézování	19
Obr. 17. Upnutí strmého frézovacího trnu do vřetene	19
Obr. 18. Redukční pouzdro	20
Obr. 19. Upnutí do kleštiny	20
Obr. 20. Tepelné upínání frézy s válcovitou stopkou	21
Obr. 21. Hydraulický upínač TENDO E	21
Obr. 22. Fréza s kuželovou stopkou Morseho kužel	22
Obr. 23. Univerzální sklíčidlo	23
Obr. 24. Řez sklíčidlem	23
Obr. 25. Upnutí hroty	24
Obr. 26. Odpružený hrot	24
Obr. 27. Otočný hrot	24
Obr. 28. Unášecí srdce s Unášecí deskou	24
Obr. 29. Luneta pevná upnutá k loži	25
Obr. 30. Opěra upnutá k suportu	25
Obr. 31. Upínací deska	26
Obr. 32. Řez upínací desky	26
Obr. 33. Samosvorné sklíčidlo	26
Obr. 34. Strojní svěrák otočný, sklopný	27
Obr. 35. Samostředicí svěrák	27
Obr. 36. T-drážky ve stole	27
Obr. 37. Příklad upínek a podpěr	28
Obr. 38. Upínací přípravek	28
Obr. 39. Průběh vlastních kmitů zaznamenaný v čase	29
Obr. 40. Úchyly kruhovitosti volané nevyvážeností broušení	30
Obr. 41. Průběh vynuceného kmitání zaznamenaný v čase	30
Obr. 42. Vlnitost	31
Obr. 43. Použité nástroje seřazené podle délky	33
Obr. 44. Více osé obráběcí centrum LU-800	34
Obr. 45. Schéma frézy	34
Obr. 46. Fréza	34
Obr. 47. břitové destičky	35
Obr. 48. Rozmezí hodnot pro posuv a úběr	35

Obr. 49. Schéma upínání	35
Obr. 50. Upínka 25mm	35
Obr. 51. Upínka 75mm	35
Obr. 52. Schéma prodloužení	36
Obr. 53. Prodloužení	36
Obr. 54. Strojní svěrák	36
Obr. 55. Čelisti pro strojní svěrák	36
Obr. 56. Použitý materiál	37
Obr. 57. Umístění kalibračního zařízení	37
Obr. 58. Kalibrace	37
Obr. 59. Průběh frézování	38
Obr. 60. Výsledný povrch	38
Obr. 61. Průběh frézování	39
Obr. 62. Výsledný povrch	39
Obr. 63. Průběh frézován	40
Obr. 64. Výsledný povrch	40
Obr. 65. Výsledný povrch	41
Obr. 66. Rozdíl řezu	41

Použité tabulky

Tab. 1. Soustružení [5]	9
Tab. 2. Frézování [5]	10
Tab. 3. Vrtání [5]	11
Tab. 4. Hoblování a obrážení [5]	12
Tab. 5. protlačování, protahování [5]	13
Tab. 6 Broušení [5]	14